

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra experimentální fyziky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Využití eye-trackingu ke studiu vizuální interpretace diferenciálních
operátorů vektorové analýzy u studentů fyzikálních oborů



Autor:	Bc. Michaela Hrubá
Studijní program:	Učitelství fyziky pro střední školy
Studijní obor:	Učitelství fyziky pro střední školy maior Učitelství matematiky pro střední školy minor
Forma studia:	Prezenční
Vedoucí práce:	Mgr. Jan Říha, Ph.D.
Termín odevzdání práce:	Srpen 2022

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou prací vypracovala samostatně pod vedením Mgr. Jana Říhy, Ph.D. a že jsem použila zdroje, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury.

V Olomouci dne _____

Bc. Michaela Hrubá

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce Mgr. Janu Říhovi, Ph.D. za cenné rady, podněty a připomínky. Dále děkuji RNDr. Stanislavu Popelkovi, Ph.D. za cenné rady a pomoc při práci s eye-trackery.

Také děkuji všem respondentům za spolupráci, ochotu a čas věnovaný výzkumu.

Bibliografická identifikace:

Jméno a příjmení autora	Bc. Michaela Hrubá
Název práce	Využití eye-trackingu ke studiu vizuální interpretace diferenciálních operátorů vektorové analýzy u studentů fyzikálních oborů
Typ práce	Diplomová
Pracoviště	Katedra experimentální fyziky
Vedoucí práce	Mgr. Jan Říha, Ph.D.
Rok obhajoby práce	2022
Abstrakt	Tématem diplomové práce je využití eye-trackingu ke studiu vizuální interpretace vektorového pole u studentů fyzikálních oborů Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci. Cílem této práce je provedení výzkumu, jehož úkolem je zjistit, zda a jakým způsobem studenti pracují s grafem vektorového pole.
Klíčová slova	Eye-tracking, vektorové pole, divergence
Počet stran	56
Počet příloh	0
Jazyk	Český

Bibliographical identification:

Autor's first name and surname	Bc. Michaela Hrubá
Title	The use of eye-tracking to study the visual interpretation of vector analysis differential operators in students of physics
Type of thesis	Master
Department	Department of Experimental Physics
Supervisor	Mgr. Jan Říha, Ph.D.
The year of presentation	2022
Abstract	This master thesis explores the use of eye-tracking to study visual interpretation of vector field in physics students of the Faculty of Science Palacky University in Olomouc. The aim of this thesis is research, in which the task is find out if and how students work with vector field plot.
Keywords	Eye-tracking, vector field, divergence
Number of pages	56
Numbers of appendices	0
Language	Czech

Obsah

Úvod.....	8
1 Eye-tracking.....	9
1.1 Pohyby očí.....	9
1.1.1 Fixace a sakády.....	9
1.2 Metody sledování očí.....	10
1.3 Typy eye-trackerů.....	11
1.4 Techniky vizualizace.....	11
2 Metodika práce.....	14
2.1 Teoretická východiska.....	14
2.2 Použité přístroje a popis průběhu výzkumu.....	16
2.3 Výzkumné otázky.....	16
2.4 Charakteristika zkoumaného souboru.....	19
2.5 Cíle výzkumu.....	20
3 Výsledky.....	22
3.1 Úspěšnost a čas řešení úloh.....	22
3.2 Vizualizace naměřených dat pomocí attention map.....	25
3.3 Vizualizace naměřených dat pomocí AOI – otázky II-V.....	27
3.4 Rozdíl mezi úspěšností Bc. a nMgr. studentů.....	30
3.5 Rozdíl mezi úspěšností žen a mužů.....	31
3.6 Vliv odpovědi na první otázku na úspěšnost při řešení dalších otázek.....	32
3.7 Závislost mezi odpověďmi a počty fixací.....	34
3.8 Závislost mezi odpověďmi a celkovou délkou sakád.....	37
3.9 Závislost odpovědi na čase stráveném na možnostech.....	39
3.9.1 Výzkumná otázka II.....	40
3.9.2 Výzkumná otázka III.....	42
3.9.3 Výzkumná otázka IV.....	44
3.9.4 Výzkumná otázka V.....	46

Závěr	49
Seznam použité literatury	51
Seznam tabulek	54
Seznam obrázků	55
Seznam grafů	56

Úvod

Cílem diplomové práce bylo provést výzkum týkající se vizualizace vektorového pole u studentů fyzikálních oborů Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci pomocí metody eye-tracking. Při této metodě dochází k záznamu pohybu očí jedince, lze tedy konkrétně analyzovat průběh sledování podnětů.

Struktura práce je následující. První kapitola se zabývá teoretickou částí, ve které je stručně shrnuta problematika pohybu očí, metody sloužící ke sledování pohybu očí, typy eye-trackerů a techniky vizualizace naměřených dat. Ve druhé kapitole je uvedena metodika práce včetně teoretických východisek, kterými jsou výzkumy provedené v předchozích letech. Za nám nejbližší výzkum považujeme studii „*Instruction-based clinical eye-tracking study on the visual interpretation of divergence: How do students look at vector field plots?*“, která proběhla na Katedře fyziky Univerzity Kaiserslautern v Německu (Klein a kol., 2018). Dále je v rámci této kapitoly uveden popis průběhu výzkumu včetně použitých přístrojů, charakteristika zkoumaného souboru, výzkumné otázky a cíle výzkumu. Třetí kapitolou je samotná interpretace výsledků provedeného výzkumu. Jedná se o podrobný rozbor naměřených dat a ověření devíti stanovených hypotéz. Pro statistické zpracování byla zvolena hladina významnosti 5 %.

V závěru práce je uvedeno shrnutí celého výzkumu. Jedná se o zhodnocení dosažení cílů a porovnání získaných výsledků s výzkumy, které byly provedeny v předešlých letech.

Chtěli bychom poděkovat respondentům za spolupráci, ochotu a čas věnovaný našemu výzkumu. Věříme, že témata diskutovaná v této práci jsou zajímavá a aktuální.

1 Eye-tracking

Eye-tracking je technologie, která je založená na záznamu pohybu očí při sledování určitého obrazu (Duchowski, 2017). Oční kamera sleduje pohyb očí např. při prohlížení obrázku, čtení textu, sledování videa nebo také při pohybu v reálné situaci. Eye-tracking se často využívá v marketingových výzkumech, v medicíně a při vzdělávání sportovců (Kekule, 2014).

1.1 Pohyby očí

Jedním z nejdůležitějších smyslů lidského člověka je zrak. Oči mají tendenci pohybovat se společně, tuto schopnost nazýváme binokulárnost. Aristoteles již před více než dvěma tisíci lety usoudil, že obě oči fungují jako jednotka. Není možné, aby se jedno oko pohybovalo nahoru a druhé dolů (Wade, 2010).

Lidé používají své oči k prozkoumávání vnějšího prostředí nebo také k identifikaci předmětů, často zaměřují své pohyby očí na oblast, která je pro ně zajímavá a snaží se zaostřit, aby získali ostřejší obrazy. Všechny tyto informace zpracovává mozek, který obrázky interpretuje. Více než 80 % informací získává člověk z vizuálního smyslového vnímání (Chen a kol., 2014)

Pohyby očí mohou odrážet emocionální stavy a kognitivní procesy. Běžná měření zachycují při sledování očí fixace, což jsou místa, kam se respondent dívá a sakády, rychlé pohyby mezi fixacemi (Bergstrom a Schall, 2014).

1.1.1 Fixace a sakády

Fixace jsou pohyby očí, při kterých se oko snaží udržet zaměřené na určitém bodě. Oko však není nikdy úplně pevně fixováno, během fixací dochází ke třem tzv. mikropohybům, těmi jsou tremor, drift a mikrosakády (Popelka, 2018).

Tremor neboli třes je velmi malý pohyb, který je pravděpodobně způsoben nepřesnou kontrolou okohybných svalů. Drift je pohyb, který posunuje oko mimo střed fixace. Vracení oka na střed fixace mají za úkol mikrosakády (Holmqvist a kol., 2011).

Pro přesun mezi fixacemi provádějí oči rychlé pohyby, které označujeme jako sakády. Jedná se o nejrychlejší pohyb části lidského těla. Během těchto sakád člověk téměř nevnímá žádné vizuální vjemy. Díky tomu není možné vidět pohyb vlastních očí v zrcadle. Sakády jsou znázorňovány jako přímé spojnice mezi fixacemi. Jen zřídka je průběh těchto sakád přímý, ve skutečnosti nabývají mnoha různých tvarů. Většina sakád neskončí přesně

ve středu následující fixace, pohyb oka se před zastavením rozkolísá. Tento pohyb nazýváme glisáda (Popelka, 2018).

Lze předpokládat, že fixace a sakády nám sdělují, co jedinec vnímá, ale není tomu tak. Fixace se odehrávají při foveálním vidění, které tvoří téměř polovinu vizuálních informací zasílaných do mozku. Tato část vize je velmi podrobná, poskytuje jasnou představu o tom, co člověk vidí. Eye-trackery sledují pouze to, co je registrováno foveálním vidění. Zbytek vidění se skládá z parafoveálního a periferního vidění (Bergstrom a Schall, 2014).

1.2 Metody sledování očí

V roce 1879 Luis Émile Javal popsal pozorování čtenáře, při kterém docházelo k relativnímu zastavení oka (fixaci) a k přeskokům k další fixaci (sakádě). Tato metoda byla založena na sledování očí v zrcátku umístěném před čtenářem. Od té doby bylo objeveno mnoho technik k přesnějšimu záznamu pohybu očí (Jedlička, 2014).

Duchowski (2017) popisuje taxonomii technologie sledování očí, kterou rozděluje na čtyři typy.

První technologií je elektrookulografie (EOG), která využívá měření rozdílů elektrického potenciálu kůže pomocí elektrod, které jsou umístěny v blízkosti očí. Při této technice se měří pohyby očí vzhledem k poloze hlavy, proto je třeba měřit také polohu hlavy (Duchowski, 2017). Oko je dipól s pozitivním potenciálem na rohovce a negativním potenciálem na sítnici. Při každém pohybu oka od středu k jedné z elektrod se kladný potenciál z rohovky zachytí elektrodou, která je k ní nejbližší, záporný potenciál sítnice je zachycen protější elektrodou (Ameri a kol., 2018).

Druhou technologií jsou sklerální kontaktní čočky. Jedná se o připevnění předmětu (mechanického nebo optického) na kontaktní čočku, která se umístí přímo do oka. Kontaktní čočka je velká, přesahuje rohovku a bělimu. Přestože se považuje za jednu z nejpřesnějších metod, nošení čočky způsobuje nepohodlí a samotné zavádění čočky vyžaduje opatrnost a praxi (Duchowski, 2017).

Fotookulografie (POG) a videookulografie (VOG) se řadí mezi třetí kategorii technologií sledování očí, tyto techniky záznamu pohybu očí zahrnují měření rozlišitelných částí očí, např. detekce tvaru zornice, poloha hranice mezi rohovkou a bělimou a odrazy blízko umístěného (infračerveného) světelného zdroje od rohovky (Duchowski, 2017).

Kombinovaná reflexe zornice a rohovky založená na videu je další technologií sledování očí. Předchozí techniky neumožňují měření bodu pozorování, pro takové měření je potřeba, aby byla hlava fixována nebo aby bylo změřeno více očních rysů k rozlišení pohybu hlavy od rotace očí. Dvě takové vlastnosti jsou odraz světelného (infračerveného) zdroje od rohovky a pozice středu zornice (Duchowski, 2017). Výsledky této metody jsou závislé na okolním světle. Za špatných světelných podmínek je velmi obtížné detekovat rys oka, použití zdroje infračerveného světla tento problém eliminuje (Lupu a Ungureanu, 2013).

1.3 Typy eye-trackerů

Eye-tracker je zařízení, kterým se provádí snímání pohybu očí. Existuje mnoho různých druhů eye-trackerů, dvěma hlavními jsou eye-trackery namontované na stůl a nošené na hlavě – brýle (Farnsworth, 2019).

V průběhu let se hardware pro sledování očí natolik pokročil, že jsou eye-trackery mobilní. Lze je využít nejen ve výzkumných laboratořích, ale i v terénu (Shayan, 2017).

Eye-trackery namontované na stůl můžeme také označovat jako vzdálené, stolní nebo stacionární. Respondenti sedí před monitorem a pracují s obsahem, který je zobrazen na obrazovce. Je jim umožněna relativní volnost pohybu z hlediska běžného rozsahu pohybu při sledování podnětů na obrazovce (Farnsworth, 2019). Eye-tracker je obvykle umístěn pod obrazovkou, na které je zobrazovaný obraz. Součástí tohoto zařízení jsou infračervená světla, která svítí směrem na respondenta. Zařízení také obsahuje kameru, která pomocí snímání očí rozpozná střed zornice a odraz infračerveného světla. Ze vzájemné polohy těchto dvou bodů vypočítá směr pohledu (Popelka, 2018).

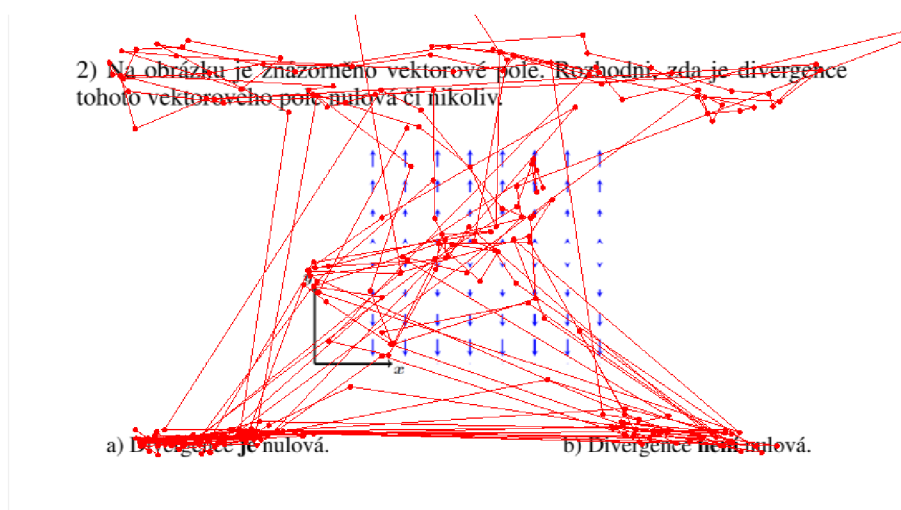
Brýle pro sledování očí jsou také známé pod pojmem head-mounted. Zařízení jsou umístěna v blízkosti očí na obrubách brýlí. Umožňují respondentům neomezený pohyb. Nevýhodou může být posun brýlí během velkého pohybu (Farnsworth, 2019).

1.4 Techniky vizualizace

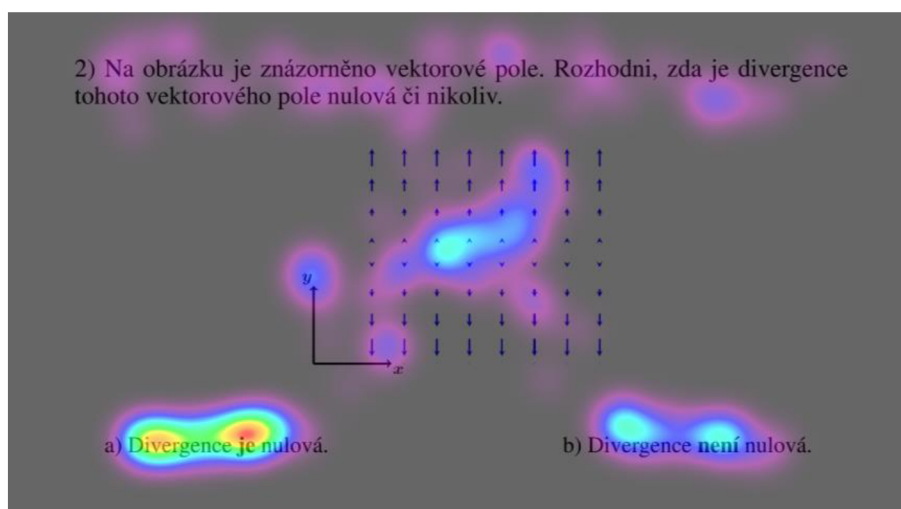
Metodologicky lze použít eye-tracking pro kvantitativní i kvalitativní typ výzkumu. Při kvalitativním výzkumu se využívají diagramy, které zobrazují fixace respondenta při pohledu na zkoumaný obraz. Tyto diagramy se nazývají gaze plot (Obrázek 1), jedná se o sumarizovanou podobu všech fixací provedených respondentem. Další možností je využití tzv. attention map (Obrázek 2), jsou to obrázky s barevným vyznačením ploch, na kterých respondent vytvořil nejvíce fixací. Těchto technik lze využít v přírodovědném

vzdělávání při posuzování výukových materiálů a učebnic nebo videí s nahranými experimenty (Kekule, 2014). Červeně se obvykle označují místa s relativně vysokým počtem fixací a modře s nejmenším počtem fixací. Oblast bez barvy neznámá, že by respondent tuto oblast neviděl, znamená to pouze, že se na ni díval krátkou dobu či ji mohl registrovat pouze periferně (Bergstrom a Schall, 2014).

V kvantitativním typu výzkumu se nejčastěji využívá oblastí zájmu – Area Of Interests (AOI) (Obrázek 3). Je to oblast zobrazení, která je zajímavá pro výzkumný tým, je tudíž jimi definována, nikoli účastníkem (Lupu a Ungureanu, 2013). Pro statistické ověřování lze využít čas do první fixace v dané oblasti, počet fixací předtím, doba trvání první fixace nebo např. průměrná doba trvání fixace v dané oblasti (Kekule, 2014).

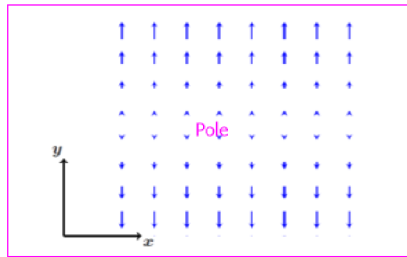


Obrázek 1: Gaze plot (Respondent 14.)



Obrázek 2: Attention map (Respondent 14.)

2) Na obrázku je znázorněno vektorové pole. Rozhodni, zda je divergence tohoto vektorového pole nulová či nikoliv.



a) Divergence je nulová.

b) Divergence není nulová.

Obrázek 3: Oblasti zájmu (AOI)

2 Metodika práce

2.1 Teoretická východiska

Při fyzikálním vzdělávání je stále populárnější sledování očí, které dle pokroku technologie bude hrát významnější roli při hodnocení učení studentů. Hahn a Klein (2022) srovnali 33 článků z časopisů publikovaných od března 2005 do dubna 2021, které využívaly eye-tracking při výzkumu v oblasti fyziky. Počet studií stále roste. Dynamický rozvoj studia eye-trackingu ve výuce fyziky lze srovnat s vývojem metodiky eye-trackingu obecně. Problémem při těchto studiích jsou malé velikosti vzorků, velké velikosti vzorků umožňují nejvyšší statistickou zobecnitelnost, ale jsou náročné jak technologicky, tak organizačně. Je třeba více prozkoumat laboratorní práce, protože experimentování hraje důležitou roli ve fyzikálním vzdělávání, sledování očí může pomoci určit vodítka k obtížím studentů při experimentování. Vizuální vnímání provedených experimentů s různým nastavením může být také užitečné pro další studium fyziky (Hahn a Klein, 2022).

Ve všech studiích kromě jedné bylo použito dálkové snímání očí. Účastníci většiny studií byli vysokoškoláci, popřípadě studenti středních škol. Ve všech publikacích byli respondenti testováni individuálně. Bylo zjištěno, že studenti, kteří se dívali déle na správnou možnost, odpověděli správně. Zatímco respondenti, kteří trávili více času nad špatnou možností, odpověděli nesprávně (Hahn a Klein, 2022).

Technologie sledování očí se v kognitivní psychologii používá již mnoho desetiletí, při provádění pedagogického výzkumu se však nevyužívá tak dlouho. Konkrétní přínos eye-trackingu k pedagogickému výzkumu v kombinaci s pohyby studentů a verbálním projevem. Zjištění, kam se studenti při interakci dívají, posune analýzu učení na vyšší úroveň (Shayan a kol., 2017).

Bollen a kol. (2016) provedli osm polostrukturovaných rozhovorů se studenty, při kterých diskutovali o divergenci a zvlnění elektromagnetických polí pomocí grafického znázornění. Účastníci se nejprve pokusili na danou otázku odpovědět samostatně bez zásahu tazatele. Poté co dokončili své řešení, byli vyzváni, aby svou teorii ověřili pomocí jedné nebo více strategií řešení zahrnujících různé interpretace, např. provedení algebraického výpočtu, interpretace vektorového pole nebo použitím Maxwellových rovnic v diferenciálním tvaru. Většina studentů dokázala divergenci a zvlnění zapsat pomocí vzorců, postrádali však koncepční porozumění, nerozlišovali mezi definicemi vektorových operátorů a matematickými výrazy. Často dostávali různé výsledky, podle toho, jakou metodu zvolili a měli problém s tím, které z řešení je správné. Nedokázali pojmy aplikovat

v elektrodynamickém kontextu. Ačkoliv jsou studenti dobře vyškoleni v matematických výpočtech, jejich aplikace na fyzikální souvislosti je problematická. Tradiční výuka není dostatečná, aby studenti plně porozuměli operátorům (Bollen a kol., 2016).

Propojení matematických pojmů s grafickým znázorněním je pro vysokoškolské studenty náročné. Klein a kol. (2018) využili dvě vizuální strategie pro interpretaci divergence vektorového pole. Jedna strategie je založena na grafické interpretaci parciálních derivací, druhá strategie využívá konceptu toku vektorového pole. Experimentu se zúčastnilo 41 studentů oborů fyziky z Technické univerzity Kaiserslautern. Všichni účastníci absolvovali dva kurzy mechaniky, kde byl představen koncept divergence. Byli osloveni v průběhu absolvování úvodního kurzu elektromagnetismu. Dle výsledků studenti dosahují nejlepších výsledků, pokud si mohou zvolit, kterou strategii použijí. Při správném posouzení divergence mají studenti tendenci trávit méně času prohlížením grafů vektorových polí. Všechna vektorová pole použítá v této studii měla všude buď nulovou nebo nenulovou divergenci, může posilovat mylnou představu o tom, že pole má pouze jednu hodnotu pro divergenci. Divergence je však lokální vlastností pole, je třeba na tuto skutečnost respondenty upozornit (Klein a kol., 2018).

Mozaffari a kol. (2020) provedli obdobnou studii, které se zúčastnilo 20 studentů fyziky z Technické univerzity Kaiserslautern. Respondenti opět byli po úspěšném dokončení dvou přednášek z mechaniky a kurzu elektromagnetismu. Výsledky jsou užitečné pro zlepšení kvality učení a výuky, protože mohou poskytnout zpětnou vazbu pro učitele (Mozaffari a kol., 2020).

Jarodzka a kol. (2017) v článku představili pedagogickou vědu jako oblast aplikovaného výzkumu sledování očí. Výzkum byl strukturován dle tří témat, konkrétně výukového designu, rozvoje odborných znalostí a příkladů modelování pohybu očí. Výukový design zkoumá, jak se naučit nové dovednosti a optimální znalosti navržením příslušného učebního materiálu. Rozvoj odborných znalostí vyústily v pokyny, jak takový materiál navrhnout a jakým procesem by student měl projít, aby dosáhl efektivních studijních výsledků. Sledování očí pomáhá pochopit, jak studenti zpracovávají takový výukový materiál. Budoucí výzkum sledování očí může pomoci tyto teorie potvrdit, zlepšit či obohatit (Jarodzka a kol., 2017).

Učebnice fyziky často zahrnují podprůměrné diagramy, které mají vizualizovat fyzikální situaci. Dle Susac a kol. (2019) data sledování očí ukázala, že studenti obvykle strávili méně času čtením textu problému, pokud jim byl předložen i diagram. Celková

doba sledování se však nezměnila, studenti pouze rozdělili svou pozornost mezi diagram a text, aniž by urychlili řešení problému (Susac a kol., 2019).

2.2 Použité přístroje a popis průběhu výzkumu

Pro samotné měření jsme použili eye-tracker GazePoint 3 s frekvencí snímání 150 Hz. Otázky byly prezentovány na monitoru 1920x1080 px. Eye-tracker je k počítači připojen pomocí dvou USB kabelů – jedním je eye-tracker napájen a druhým probíhá přenos dat. Pro správné umístění eye-trackeru pod monitorem byl využit program Gazepoint Control, který pomocí indikátoru určí, zda uživatel sedí blízko či daleko. Před každým měřením proběhla devítibodová kalibrace, po kalibraci si uživatel může ověřit, zda proběhla správně pomocí zobrazení trajektorie oka v síti jedenácti kružnic. Gazepoint Analysis je software, který slouží k tvorbě experimentu. Následná analýza dat proběhla v open-source nástroji OGAMA. Pro převod dat z Gazepoint Analysis do OGAMA byl využit nástroj GP2OGAMA (viz <http://eyetracking.upol.cz/gp2ogama/>), který byl vytvořen na Katedře geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci (Popelka, 2018). Statistické zpracování bylo realizováno s využitím software R. Pro statistické testy byla zvolena hladina významnosti 5 %.

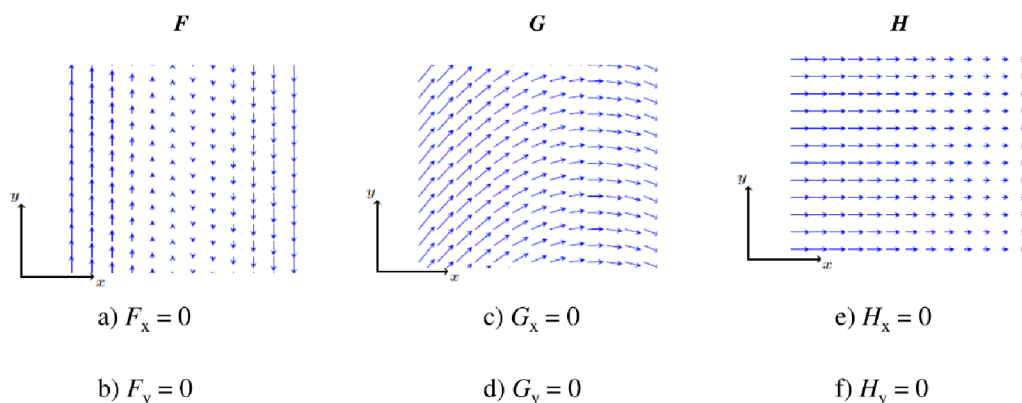
Respondenti odpovídali na pět otázek. První otázka měla na výběr ze šesti možností, přičemž dvě byly správné. Další otázky již byly stejné, respondent měl určit, zda je divergence vektorového pole na obrázku nulová či nikoliv.

Při řešení úloh respondenti neměli k dispozici žádné pomůcky. V případě, že student již chtěl označit správnou odpověď, řekl ji nahlas a výzkumník si tuto odpověď zapsal. Poté bylo možné pokračovat další otázkou.

2.3 Výzkumné otázky

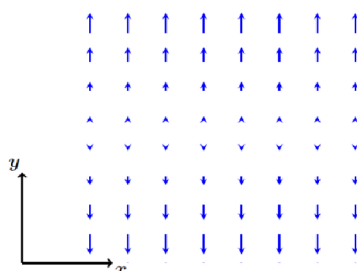
Úlohy včetně grafického znázornění vektorových polí byly převzaty ze studie „*Instruction-based clinical eye-tracking study on the visual interpretation of divergence: How do students look at vector field plots?*“, která probíhala na Univerzitě Kaiserslautern v Německu (Klein a kol., 2018). Vybrané úlohy byly přeloženy do českého jazyka a upraveny dle potřeby výzkumu.

1) Na obrázku jsou znázorněna tři dvoudimenzionální vektorová pole F , G a H . Rozhodni, které z následujících možností jsou **pravdivé**. F_x (G_x , H_x) označuje souřadnici x vektorového pole F (G , H).



Obrázek 4: Výzkumná otázka I

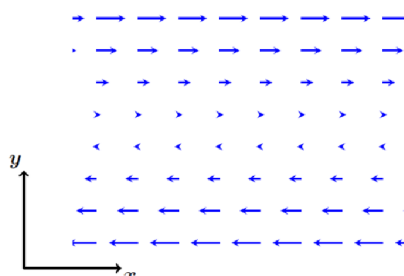
2) Na obrázku je znázorněno vektorové pole. Rozhodni, zda je divergence tohoto vektorového pole nulová či nikoliv.



- a) Divergence **je** nulová. b) Divergence **není** nulová.

Obrázek 5: Výzkumná otázka II

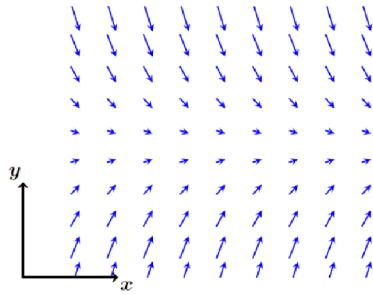
3) Na obrázku je znázorněno vektorové pole. Rozhodni, zda je divergence tohoto vektorového pole nulová či nikoliv.



- a) Divergence **je** nulová. b) Divergence **není** nulová.

Obrázek 6: Výzkumná otázka III

4) Na obrázku je znázorněno vektorové pole. Rozhodni, zda je divergence tohoto vektorového pole nulová či nikoliv.

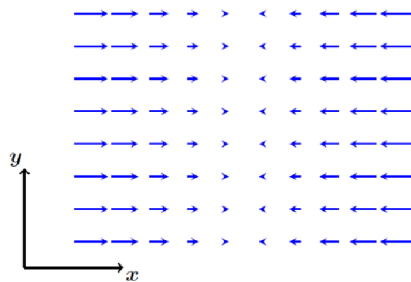


a) Divergence **je** nulová.

b) Divergence **není** nulová.

Obrázek 7: Výzkumná otázka IV

5) Na obrázku je znázorněno vektorové pole. Rozhodni, zda je divergence tohoto vektorového pole nulová či nikoliv.



a) Divergence **je** nulová.

b) Divergence **není** nulová.

Obrázek 8: Výzkumná otázka V

Výzkumná otázka	Správná odpověď
I	A, F
II	B
III	A
IV	B
V	B

Tabulka 1: Správné odpovědi na výzkumné otázky

2.4 Charakteristika zkoumaného souboru

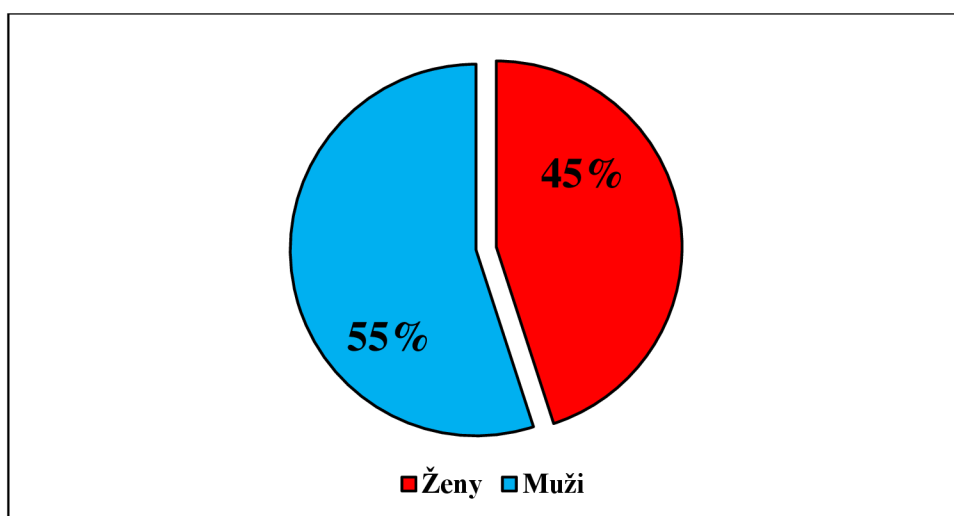
Testování pro účely diplomové práce se zúčastnilo 17 studentů bakalářského studia (Bc.) a 13 studentů navazujícího magisterského studia (Mg.) fyzikálních oborů na Katedře experimentální fyziky na Přírodovědecké fakultě Univerzity Palackého v Olomouci.

Před samotným vyhodnocováním výsledků byla provedena analýza naměřených dat. Ze 30 respondentů bylo 10 z našeho výzkumu vyřazeno z důvodu tzv. ztracených dat, jejichž hodnota byla vyšší než 10 %. Mezi ztracená data patří hodnoty, při kterých se respondenti dívali mimo obrazovku. Problém mohl také nastat, pokud respondenti měli příliš úzké oči, povislá víčka či řasenku nebo nasazené dioptrické brýle s antireflexní vrstvou.

Sledovaný soubor tvoří 20 studentů: 10 studentů bakalářského studia a 10 studentů navazujícího magisterského studia. V rámci bakalářského studia 3 ženy a 7 mužů, v rámci magisterského 6 žen a 4 muži.

	Ženy		Muži		Dohromady	
	N	Relativní četnost v %	N	Relativní četnost v %	N	Relativní četnost v %
Bakalářské studium	3	30 %	7	70 %	10	100 %
Navazující magisterské studium	6	60 %	4	40 %	10	100 %
Celkem	9	45 %	11	55 %	20	100 %

Tabulka 2: Charakteristika zkoumaného souboru – pohlaví respondentů



Graf 1: Charakteristika zkoumaného souboru – pohlaví respondentů

2.5 Cíle výzkumu

Hlavním cílem této práce je provést výzkum týkající se vizualizace vektorového pole pomocí metody eye-tracking. Určit, zda a jakým způsobem studenti Katedry experimentální fyziky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci dokáží pracovat s grafem vektorového pole.

Na základě cíle výzkumu jsme stanovili následujících 9 hypotéz:

H₀₁: Mezi odpověďmi studentů bakalářského studia a navazujícího magisterského studia není statisticky významný rozdíl.

H_{A1}: Mezi odpověďmi studentů bakalářského studia a navazujícího magisterského studia je statisticky významný rozdíl.

H₀₂: Mezi odpověďmi žen a mužů není statisticky významný rozdíl.

H_{A2}: Mezi odpověďmi žen a mužů je statisticky významný rozdíl.

H₀₃: Správnost odpovědi na první otázku nemá vliv na správnost odpovědí na další otázky.

H_{A3}: Správnost odpovědi na první otázku má vliv na správnost odpovědí na další otázky.

H₀₄: Odpovědi studentů a počty fixací jsou nezávislé.

H_{A4}: Odpovědi studentů a počty fixací jsou závislé.

H₀₅: Odpovědi studentů a délky sakád jsou nezávislé.

H_{A5}: Odpovědi studentů a délky sakád jsou závislé.

H₀₆: Čas strávený na možnostech odpovědí nemá vliv na úspěšnost odpovědi na otázku II.

H_{A6}: Čas strávený na možnostech odpovědí má vliv na úspěšnost odpovědi na otázku II.

H₀₇: Čas strávený na možnostech odpovědí nemá vliv na úspěšnost odpovědi na otázku III.

H_{A7}: Čas strávený na možnostech odpovědí má vliv na úspěšnost odpovědi na otázku III.

H₀₈: Čas strávený na možnostech odpovědí nemá vliv na úspěšnost odpovědi na otázku IV.

H_{A8}: Čas strávený na možnostech odpovědí má vliv na úspěšnost odpovědi na otázku IV.

H₀₉: Čas strávený na možnostech odpovědí nemá vliv na úspěšnost odpovědi na otázku V.

H_{A9}: Čas strávený na možnostech odpovědí má vliv na úspěšnost odpovědi na otázku V.

Tyto hypotézy jsme ověřovali na hladině významnosti 5 %. Ke statickému zpracování jsme využili Wilcoxonův test, Friedmanův test a model logistické regrese.

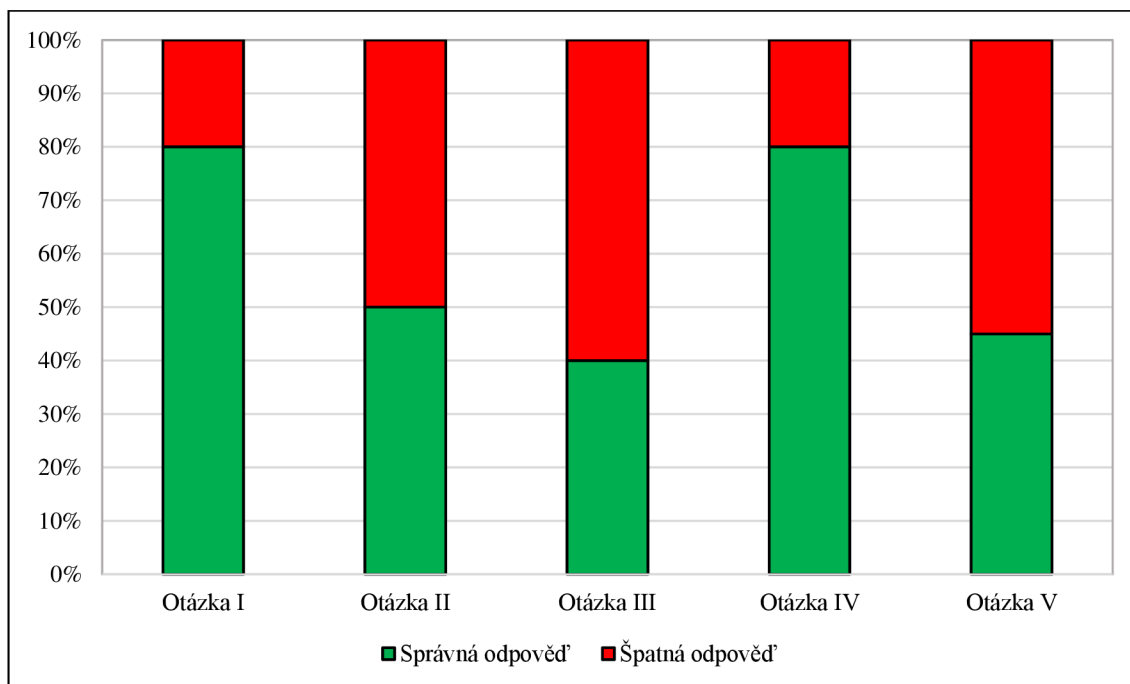
3 Výsledky

3.1 Úspěšnost a čas řešení úloh

Nejprve jsme porovnali jednotlivé úlohy z pohledu správných odpovědí a doby řešení. V následující tabulce (Tabulka 3) je zaznamenán souhrn všech odpovědí na jednotlivé otázky. Správná odpověď je označena 1 a nesprávná 0. V případě první otázky je 0 označena částečně správná odpověď.

Respondent	Výzkumná otázka I Odpověď respondenta	Výzkumná otázka II Odpověď respondenta	Výzkumná otázka III Odpověď respondenta	Výzkumná otázka IV Odpověď respondenta	Výzkumná otázka V Odpověď respondenta
1.	1	0	1	1	1
2.	1	1	1	1	0
3.	1	1	1	1	1
4.	1	1	0	1	1
5.	0	1	0	1	1
6.	1	1	0	0	0
7.	1	1	0	1	0
8.	1	0	0	1	0
9.	1	1	1	1	1
10.	0	0	0	1	0
11.	1	1	0	0	1
12.	0	0	0	0	1
13.	1	0	1	1	0
14.	1	0	1	1	0
15.	1	0	1	1	0
16.	1	1	0	1	1
17.	1	0	0	1	0
18.	0	0	0	0	0
19.	1	1	1	1	1
20.	1	0	0	1	0
Počet správných odpovědí	16	10	8	16	9

Tabulka 3: Souhrn odpovědí pro jednotlivé otázky



Graf 2: Relativní četnost odpovědí na jednotlivé otázky

Z grafu (Graf 2) je patrné, že na otázku III odpovědělo správně nejméně respondentů, úspěšnost této otázky je pouze 40,00 %. Na otázku V odpovědělo 9 respondentů správně, což je 45,00 %. Na otázku II odpovědělo správně 50,00 % respondentů. Z tohoto usuzujeme, že otázka III obsahovala vektorové pole, u kterého bylo nejobtížnější určit, zda je jeho divergence nulová či nikoliv.

Zaměříme-li se na úspěšnost jednotlivých studentů, na všechny otázky odpověděli správně 3 studenti, konkrétně dva studenti bakalářského studia a jeden student navazujícího magisterského studia. Nejméně úspěšným byl student navazujícího magisterského studia, který neodpověděl správně ani na jednu z otázek.

Výzkumná otázka	Počet správných odpovědí	Průměrný čas strávený na grafu vektorového pole [ms]
II	10	9302,50
III	8	5790,40
IV	16	6628,85
V	9	6403,35

Tabulka 4: Závislost správné odpovědi na čase stráveném na grafu vektorového pole

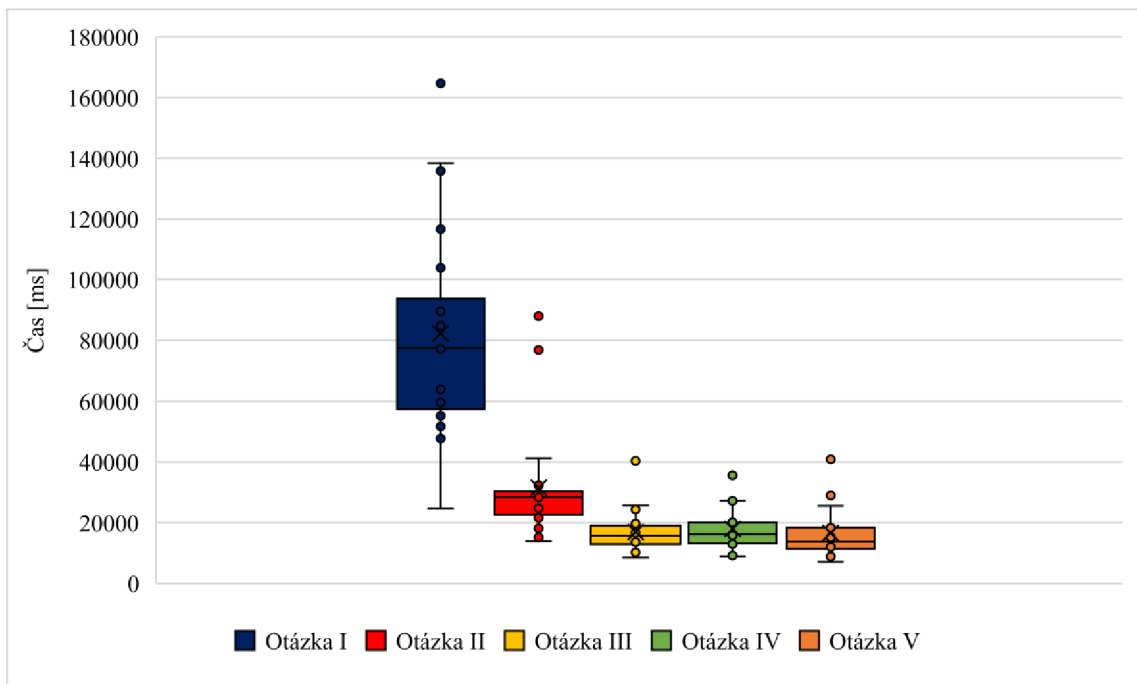
Dle tabulky je patrné, že při delším čase sledování grafu vektorového pole respondenti spíše odpovídali správně (Tabulka 4).

Výzkumná otázka	Respondent	Student	Celkový čas strávený na otázce [ms]	Odpověď
I	15.	nMgr.	164646	Správná
	16.	nMgr.	24703	Správná
II	15.	nMgr.	87975	Špatná
	16.	nMgr.	13993	Správná
III	14.	nMgr.	40358	Správná
	8.	Bc.	8460	Špatná
IV	12.	nMgr.	36325	Špatná
	5.	Bc.	8916	Správná
V	7.	Bc.	40853	Špatná
	10.	Bc.	7166	Špatná

Tabulka 5: Nejkratší a nejdelší čas strávený na jednotlivých otázkách

V tabulce (Tabulka 5) najdeme uvedené nejkratší a nejdelší časy u jednotlivých otázek. Je také uvedeno, jak v těchto případech respondent odpovídal. Při nejkratším čase stráveném na otázce odpověděli 3 studenti správně a 2 špatně, úspěšnost je tedy 60,00 %. Zatímco při nejdelším čase stráveném na otázce odpověděli správně pouze 2 studenti a 3 odpověděli špatně, úspěšnost je pouze 40,00 %. Dle těchto dat však nelze predikovat, zda rychlá odpověď naznačuje správnou odpověď či naopak.

Z následujícího grafu (Graf 3) je patrné, že respondenti potřebovali přibližně dvojnásobný čas pro řešení otázky I než pro řešení ostatních otázek. Tato otázka obsahovala tři dvoudimenzionální pole a měla na výběr ze šesti možností, přičemž dvě byly správné. Delší čas u první otázky může být také způsoben úvodním seznámením a adaptací na druh měření. Další otázky měly na výběr pouze ze dvou možností.



Graf 3: Doba řešení jednotlivých úloh

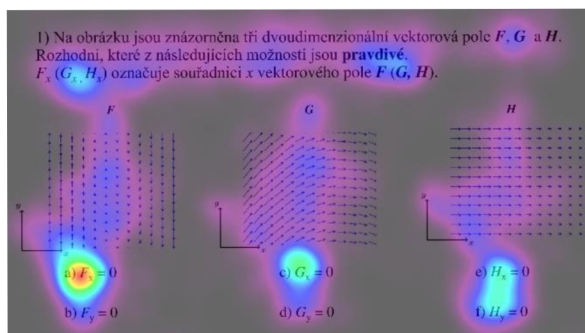
3.2 Vizualizace naměřených dat pomocí attention map

Naměřená data lze analyzovat pomocí tzv. attention map, kde jsou barevně vyznačena místa, na která se respondenti dívali častěji (červená barva znamená nejvyšší zájem o dané místo). Attention mapy jsou vytvořeny ze všech 20 odpovědí respondentů pro jednotlivé otázky.

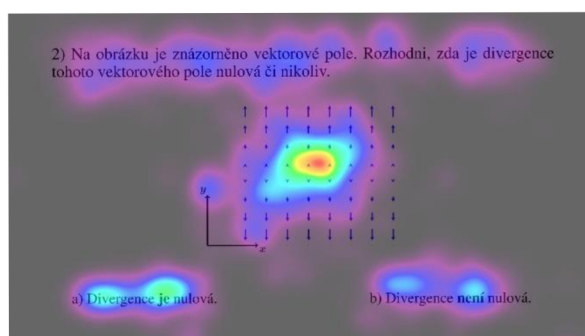
První otázka obsahuje tři dvoudimenzionální vektorová pole, respondenti si všechny pole prohlíželi se stejným zájmem. Z attention mapy je patrné, že hlavní oblastí zájmu byla možnost A, která je správnou odpovědí. Poté se respondenti soustředili na odpovědi C, E a F, přičemž odpověď F je také správná. Na tuto otázku neodpověděl žádný z respondentů špatně, pouze čtyři neuvedli celé řešení. Dva respondenti uvedli jen A a dva respondenti jen možnost F (Obrázek 9).

Další otázky se zaměřovaly na to, zda má vektorové pole na obrázku nulovou nebo nenulovou divergenci. Při řešení těchto otázek se respondenti zaměřovali převážně na vektorové pole uprostřed. Při řešení otázky II se více zaměřovali na možnost A, přičemž ta byla nesprávná. Studenti věnovali svou pozornost také souřadnici y (Obrázek 10). Při otázce III nelze určit, které možnosti respondenti věnovali více pozornosti. Opět je patrné, že jejich oblastí zájmu je převážně prostřední část vektorového pole (Obrázek 11). Respondenti při řešení otázky IV věnovali pozornost prostřední části vektorového pole, přičemž je viditelné, že se dívali ve směru vektorů tohoto pole. Více se dívali na možnost

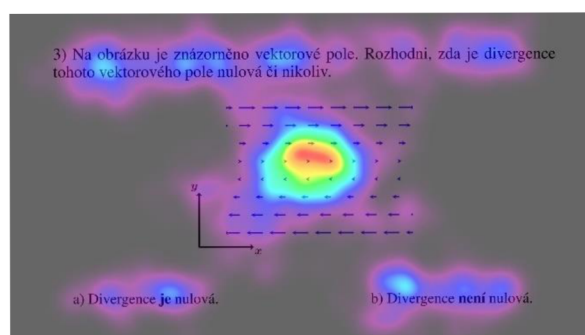
B, která je správná (Obrázek 12). Z attention mapy pro otázku V je patrné, že respondenty již příliš nezajímalo zadání, které bylo stejné i pro tři předchozí otázky. Věnovali proto pozornost spíše vektorovému poli a možnosti A i B procházeli se stejným zájmem (Obrázek 13).



Obrázek 9: Attention map pro otázku I



Obrázek 10: Attention map pro otázku II



Obrázek 11: Attention map pro otázku III



Obrázek 12: Attention map pro otázku IV



Obrázek 13: Attention map pro otázku V

3.3 Vizualizace naměřených dat pomocí AOI – otázky II-V

Data můžeme analyzovat pomocí oblastí zájmů, tzv. Areas of Interest. Pomocí těchto oblastí zájmu jsme rozdělili otázky II-V na Zadání, Pole, Odpověď A a Odpověď B. Lze zobrazit celkový počet zaznamenaných fixací v daných oblastech.

Otázka II má nejvyšší počet fixací v oblasti vektorového pole, celkový počet fixací je vyšší na oblasti Odpovědi A, která byla nesprávná (Obrázek 14). Správně na tuto otázku odpovědělo 10 respondentů, tedy úspěšnost při řešení této otázky je 50,00 %.

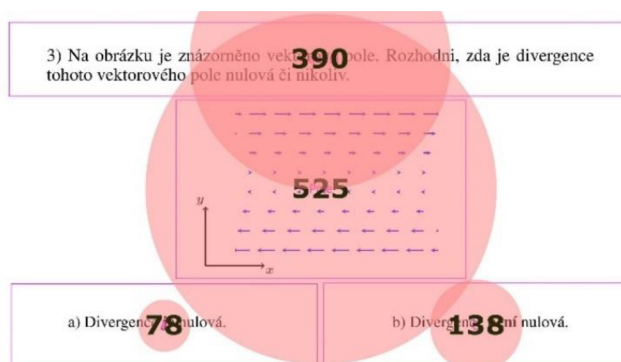
U otázky III udělali celkově respondenti nejvíce fixací opět na vektorovém poli. Co se týče odpovědí, o 60 více fixací udělali respondenti v oblasti odpovědi B, přičemž to nebyla správná odpověď (Obrázek 15). Úspěšnost při řešení této otázky je jen 40,00 %.

Nejvyšší počet fixací provedli respondenti u otázky IV opět na vektorovém poli. U možnosti B udělali respondenti o 79 fixací více, jedná se také o správnou odpověď (Obrázek 16). Úspěšnost této otázky je 80,00 %.

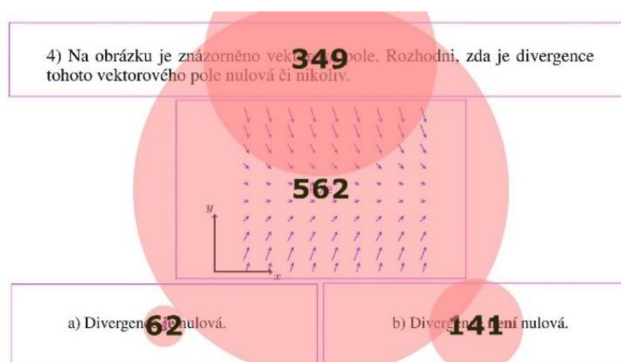
Poslední otázka má opět nejvíce fixací v oblasti vektorového pole. Co se týče odpovědí, počet fixací je vyrovnaný (Obrázek 17), úspěšnost této otázky je však pouze 45,00 %.



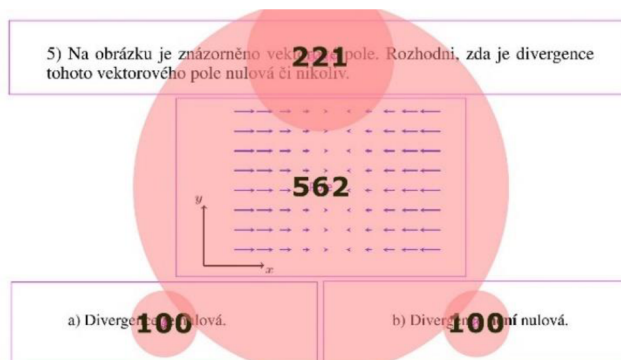
Obrázek 14: Celkový počet fixací AOI, výzkumná otázka II



Obrázek 15: Celkový počet fixací AOI, výzkumná otázka III

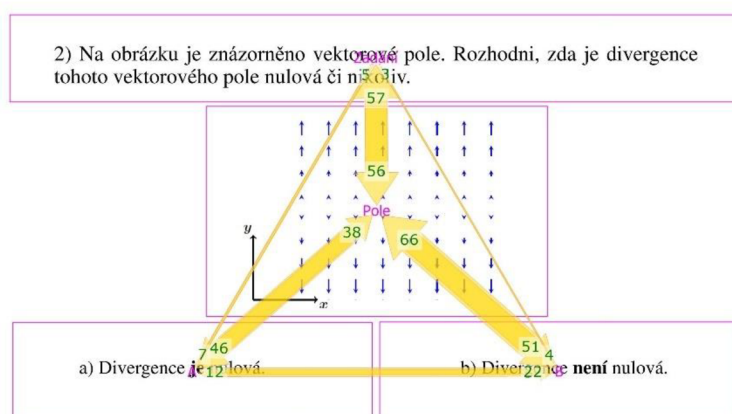


Obrázek 16: Celkový počet fixací AOI, výzkumná otázka IV

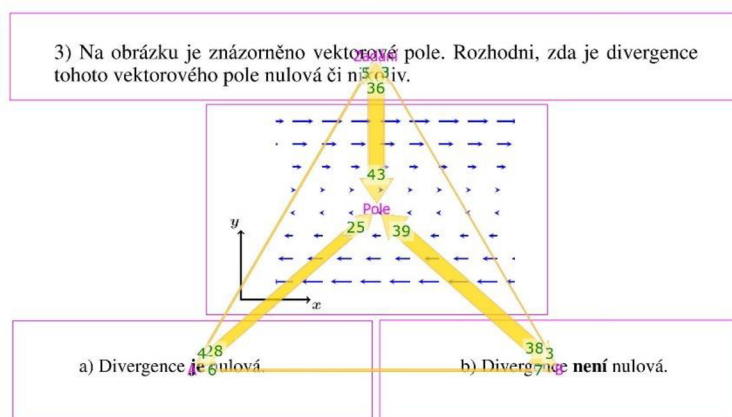


Obrázek 17: Celkový počet fixací AOI, výzkumná otázka V

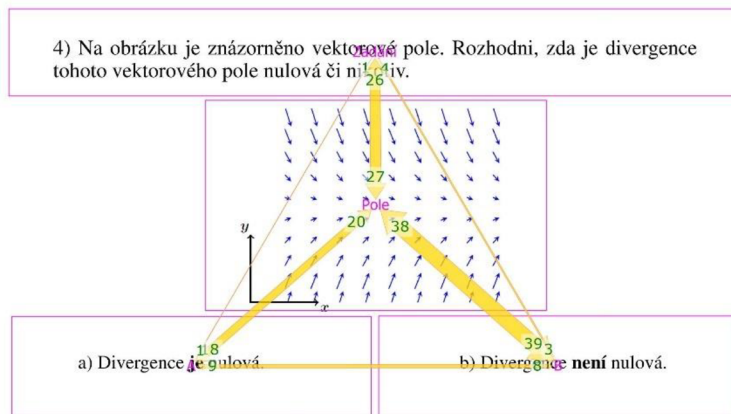
Naměřená data lze také analyzovat pomocí vizualizace přesunů pohledů mezi jednotlivými AOI. U otázky II dochází nejčastěji k přesunům mezi odpovědí B (správná odpověď) a grafickým znázorněním vektorového pole (Obrázek 18). Nejčastější přesun mezi zadáním a vektorovým polem je u otázky III (Obrázek 19), respondenti pravděpodobně již nepotřebovali věnovat pozornost odpovědím, protože věděli, že volí mezi odpovědí ano a odpovědí ne. Mezi grafickým znázorněním vektorového pole a odpovědí B (správná odpověď) proběhlo nejvíce přesunů u otázky IV (Obrázek 20). U otázky V dochází nejčastěji k přesunům mezi oblastí zadání a grafem vektorového pole (Obrázek 21).



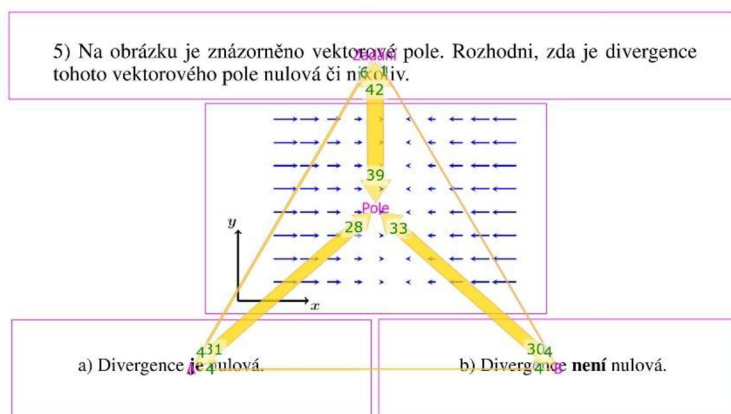
Obrázek 18: Vizualizace přesunů pohledu mezi AOI, výzkumná otázka II



Obrázek 19: Vizualizace přesunů pohledu mezi AOI, výzkumná otázka III



Obrázek 20: Vizualizace přesunů pohledu mezi AOI, výzkumná otázka IV



Obrázek 21: Vizualizace přesunů pohledu mezi AOI, výzkumná otázka V

Dle těchto vizualizací je patrné, že respondenti neprováděli časté přesuny mezi samotnými odpověďmi, převážně docházelo k přesunům na vektorové pole.

3.4 Rozdíl mezi úspěšností Bc. a nMgr. studentů

Našeho testování se zúčastnily dvě skupiny studentů – studenti bakalářských oborů (Bc.) a studenti navazujících magisterských oborů (nMgr.). Všechny obory byly zaměřeny na fyziku, konkrétně se jednalo o učitelství fyziky a nanotechnologii. Zjišťovali jsme tedy, zda je rozdíl mezi úspěšností Bc. studentů a nMgr. studentů.

H_{01} : Mezi odpověďmi studentů bakalářského studia a navazujícího magisterského studia není statisticky významný rozdíl.

H_{A1} : Mezi odpověďmi studentů bakalářského studia a navazujícího magisterského studia je statisticky významný rozdíl.

Otázka	Studium	Počet správných odpovědí	Počet špatných odpovědí	p – statistická významnost
I	Bc.	8	2	1,0000
	nMgr.	8	2	
II	Bc.	7	3	0,1789
	nMgr.	3	7	
III	Bc.	4	6	1,0000
	nMgr.	4	6	
IV	Bc.	9	1	0,5820
	nMgr.	7	3	
V	Bc.	5	5	1,0000
	nMgr.	4	6	

Tabulka 6: Rozdíl mezi odpověďmi Bc. a nMgr. studentů

Statistické vyhodnocení ukázalo, že hodnota statistické významnosti Friedmanova testu $p = 0,0542$ není nižší než 0,05, proto nemůžeme zamítnout nulovou hypotézu. Mezi odpověďmi studentů bakalářského studia a navazujícího magisterského studia není statisticky významný rozdíl. Vypočítaná hodnota statistické významnosti je však hraniční. Z tabulky rozdílu mezi odpověďmi Bc. a nMgr. studentů (Tabulka 6) je patrné, že studenti navazujícího magisterského studia chybovali častěji. Toto zjištění bylo pro nás překvapením, neboť jsme čekali, že právě studenti navazujícího magisterského studia budou více úspěšní při řešení těchto úloh s vektorovým polem. Na rozdíl od studentů bakalářských oborů se již setkali během studia s předměty jako je Elektřina a magnetismus nebo Elektromagnetické pole, kde se s vektorovými poli hojně pracuje. Měli by tak mít určitou zkušenost s jejich praktickým využitím. Tato neznalost pravděpodobně souvisí s obdobím, ve kterém studenti byli nuceni tyto předměty absolvovat online. Předměty byly vedeny online formou z důvodu mimořádných opatření spojených s pandemií Covid-19.

3.5 Rozdíl mezi úspěšností žen a mužů

Dle 2.4 Charakteristika zkoumaného souboru se našeho výzkumu zúčastnilo 9 žen a 11 mužů. Zajímalo nás, jestli se odpovědi žen a mužů liší. Nerozlišovali jsme, zda se jedná o studenta/studentku bakalářského či navazujícího magisterského studia.

H_{02} : Mezi odpověďmi žen a mužů není statisticky významný rozdíl.

H_{A2} : Mezi odpověďmi žen a mužů je statisticky významný rozdíl.

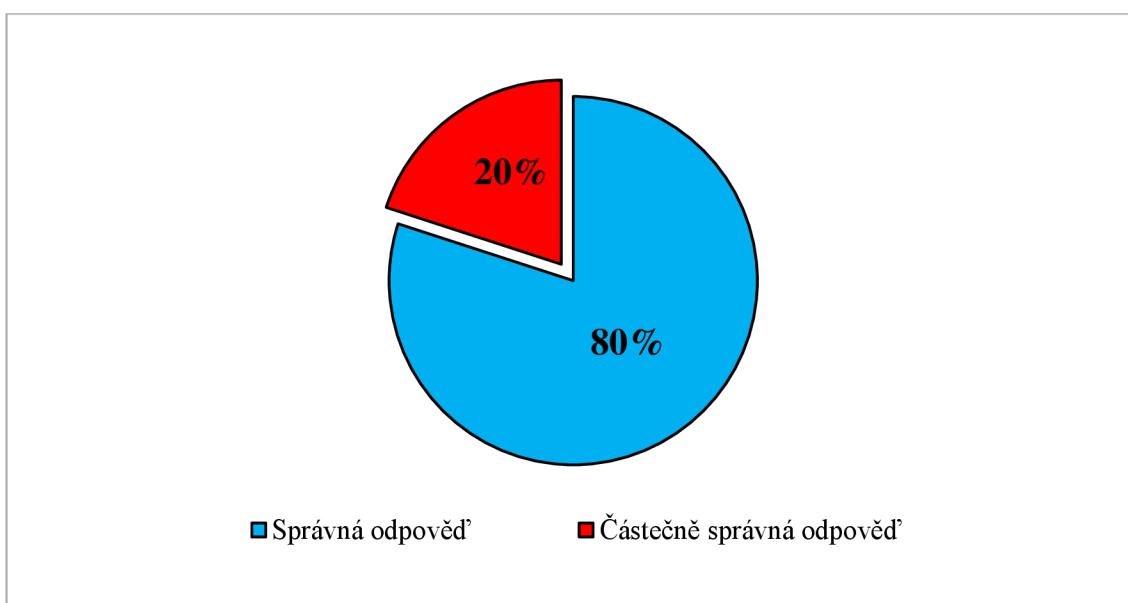
Otázka	Pohlaví	Počet správných odpovědí	Počet špatných odpovědí	p – statistická významnost
I	Ženy	7	2	1,0000
	Muži	9	2	
II	Ženy	3	6	0,3698
	Muži	7	4	
III	Ženy	4	5	1,0000
	Muži	4	6	
IV	Ženy	7	2	1,0000
	Muži	9	2	
V	Ženy	4	5	1,0000
	Muži	5	6	

Tabulka 7: Rozdíl mezi odpověďmi žen a mužů

Hodnota statistické významnosti Friedmanova testu je $p = 0,1379$, což není méně než 0,05, proto nemůžeme zamítnout nulovou hypotézu. Mezi odpověďmi žen a mužů není statisticky významný rozdíl. Pohlaví nemělo vliv na úspěšnost při řešení těchto úloh.

3.6 Vliv odpovědi na první otázku na úspěšnost při řešení dalších otázek

První otázka našeho výzkumu (Obrázek 4) měla na výběr ze šesti možností (A-F), přičemž správné odpovědi byly dvě, konkrétně A a F. Na otázku správně odpovědělo 16 respondentů (80,00 %), jen 4 respondenti (20,00 %) odpověděli částečně správně, což znamená, že zvolili pouze jednu ze dvou správných odpovědí, přestože byli upozorněni, že otázka obsahuje více správných odpovědí, nebyl ale řečen přesný počet (Graf 4).



Graf 4: Úspěšnost při řešení první otázky

Otázky II-V (Obrázek 5, Obrázek 6, Obrázek 7, Obrázek 8) byly stejného druhu, určovalo se, zda má vektorové pole na obrázku nulovou či nenulovou divergenci.

Protože jsme první otázku považovali za úvodní, zjišťovali jsme, zda správnost odpovědi měla vliv na úspěšnost při řešení dalších otázek. Předpokládali jsme, že pokud by respondent odpověděl špatně na první otázku, měl by mít nižší úspěšnost při řešení dalších otázek vlivem nedostatečného porozumění problematice vektorových polí.

H_{03} : Správnost odpovědi na první otázku nemá vliv na správnost odpovědí na další otázky.

H_{A3} : Správnost odpovědi na první otázku má vliv na správnost odpovědí na další otázky.

Bakalářské studium	Odpověď na otázku I	Počet správných odpovědí na otázky II-V	
		N	Relativní četnost v %
1.	Správně	3	75 %
2.	Správně	3	75 %
3.	Správně	4	100 %
4.	Správně	3	75 %
5.	Částečně správně	3	75 %
6.	Správně	1	25 %
7.	Správně	2	50 %
8.	Správně	1	25 %
9.	Správně	4	100 %
10.	Částečně správně	1	25 %
Průměr		2,5	63 %

Tabulka 8: Počet správných odpovědí na otázky II-V u Bc. studentů

U bakalářských studentů je hodnota statistické významnosti Wilcoxonova testu $p = 0,5839$, což není méně než $0,05$, proto nelze zamítnout nulovou hypotézu. Odpověď na první otázku u Bc. studentů nemá vliv na úspěšnost při řešení dalších otázek. Nejmenší úspěšnost u otázek II-V je $25,00\%$, měli ji dva respondenti. Naopak nejvyšší úspěšnost byla $100,00\%$, kterou nalezneme také u dvou studentů.

Navazující magisterské studium	Odpověď na otázku I	Počet správných odpovědí na otázky II-V	
		N	Relativní četnost v %
1.	Správně	2	50 %
2.	Částečně správně	1	25 %
3.	Správně	2	50 %
4.	Správně	2	50 %
5.	Správně	2	50 %
6.	Správně	3	75 %
7.	Správně	1	25 %
8.	Částečně správně	0	0 %
9.	Správně	4	100 %
10.	Správně	1	25 %
Průměr		1,8	45 %

Tabulka 9: Počet správných odpovědí na otázky II-V u nMgr. studentů

Hodnota statistické významnosti Wilcoxonova testu u studentů navazujícího magisterského studia je $p = 0,0760$, což není méně než 0,05, proto nemůžeme zamítnout nulovou hypotézu. Úspěšnost u první otázky nemá vliv na úspěšnost při řešení dalších otázek. Nejnižší úspěšnost u otázek II-V měl jeden respondent, konkrétně neodpověděl ani na jednu z těchto otázek správně, přičemž již na otázku I. odpověděl pouze částečně správně. Nejvyšší úspěšnosti, 100,00 %, dosáhl jeden student navazujícího magisterského studia.

Vypočítaná hodnota statistické významnosti Wilcoxonova testu pro celkovou skupinu studentů (Bc. i nMgr.) $p = 0,1079$ je vyšší než 0,05, proto nelze zamítnout nulovou hypotézu. Správnost odpovědi na první otázku nemá vliv na úspěšnost při řešení následujících otázek.

3.7 Závislost mezi odpověďmi a počty fixací

Opět jsme správné odpovědi označili 1 a špatné odpovědi 0, v případě první otázky jsme 0 označili částečně správné odpovědi. Nyní jsme zjišťovali, zda studenti, kteří odpověděli správně, vytvořili více fixací než studenti, kteří odpověděli nesprávně nebo naopak.

H_{04} : Odpovědi studentů a počty fixací jsou nezávislé.

H_{A4} : Odpovědi studentů a počty fixací jsou závislé.

Respondent	Odpověď respondenta	Celkový počet fixací	Odpověď respondenta	Celkový počet fixací	Odpověď respondenta	Celkový počet fixací
	Výzkumná otázka I		Výzkumná otázka II		Výzkumná otázka III	
1.	1	266	0	100	1	40
2.	1	401	1	76	1	40
3.	1	190	1	52	1	63
4.	1	185	1	89	0	70
5.	0	138	1	76	0	45
6.	1	330	1	82	0	70
7.	1	525	1	109	0	93
8.	1	385	0	92	0	32
9.	1	163	1	110	1	85
10.	0	213	0	88	0	61
11.	1	76	1	15	0	20
12.	0	220	0	102	0	48
13.	1	310	0	98	1	59
14.	1	306	0	231	1	135
15.	1	548	0	271	1	33
16.	1	65	1	47	0	48
17.	1	206	0	117	0	51
18.	0	463	0	85	0	63
19.	1	283	1	143	1	59
20.	1	265	0	81	0	66
<i>p</i> – hladina významnosti		0,7505		0,0756		1,0000

Tabulka 10: Závislost odpovědi na počtu fixací (Výzkumná otázka I-III)

Respondent	Odpověď respondenta	Celkový počet fixací	Odpověď respondenta	Celkový počet fixací
	Výzkumná otázka IV		Výzkumná otázka V	
1.	1	36	1	43
2.	1	62	0	62
3.	1	38	1	52
4.	1	72	1	120
5.	1	35	1	44
6.	0	90	0	47
7.	1	97	0	142
8.	1	48	0	27
9.	1	71	1	46
10.	1	38	0	26
11.	0	44	1	20
12.	0	97	1	59
13.	1	59	0	46
14.	1	60	0	37
15.	1	59	0	85
16.	1	46	1	24
17.	1	65	0	53
18.	0	48	0	39
19.	1	48	1	37
20.	1	46	0	36
<i>p</i> – hladina významnosti		0,3937		0,7038

Tabulka 11: *Závislost odpovědi na počtu fixací (Výzkumná otázka IV-V)*

Výzkumná otázka	<i>p</i> – hladina významnosti
I	0,7505
II	0,0756
III	1,0000
IV	0,3937
V	0,7038

Tabulka 12: *Hladina významnosti při určování závislosti odpovědi na počtu fixací*

Statistické vyhodnocení ukázalo, že hodnota Wilcoxonova testu pro výzkumnou otázku I je $p = 0,7505$, pro otázku II $p = 0,0756$, pro otázku III $p = 1,0000$, pro otázku IV $p = 0,3937$ a pro otázku V $p = 0,7038$ (Tabulka 12). Což není ani v jednom případě menší

než 0,05, proto nelze zamítnout nulovou hypotézu. Odpovědi studentů a počty fixací jsou nezávislé. Nezáleží tedy na počtu fixací, které respondenti udělali během řešení jednotlivých otázek.

3.8 Závislost mezi odpověďmi a celkovou délkou sakád

Správná odpověď je označena 1 a špatná odpověď 0, v případě první otázky je 0 označena částečně správná odpověď. Zjišťovali jsme, zda celková délka sakád souvisí se s úspěšností při řešení otázek.

H_{05} : Odpovědi studentů a délky sakád jsou nezávislé.

H_{A5} : Odpovědi studentů a délky sakád jsou závislé.

Respondent	Odpověď respondenta	Celková délka sakád [px]	Odpověď respondenta	Celková délka sakád [px]	Odpověď respondenta	Celková délka sakád [px]
	Výzkumná otázka I		Výzkumná otázka II		Výzkumná otázka III	
1.	1	240,70	0	251,46	1	274,84
2.	1	274,87	1	236,75	1	267,00
3.	1	195,23	1	278,42	1	268,16
4.	1	179,88	1	188,02	0	167,77
5.	0	275,44	1	233,19	0	222,67
6.	1	248,40	1	286,15	0	202,16
7.	1	288,93	1	235,00	0	211,76
8.	1	313,29	0	273,71	0	304,73
9.	1	251,70	1	122,65	1	186,62
10.	0	208,60	0	307,27	0	376,40
11.	1	317,20	1	461,45	0	417,06
12.	0	413,64	0	596,29	0	711,98
13.	1	216,04	0	205,57	1	255,22
14.	1	264,46	0	322,40	1	307,15
15.	1	222,37	0	237,95	1	341,06
16.	1	316,44	1	247,60	0	177,28
17.	1	258,65	0	205,41	0	268,69
18.	0	247,78	0	246,90	0	246,40
19.	1	212,76	1	205,05	1	278,75
20.	1	199,25	0	164,09	0	201,95
p – hladina významnosti		0,6167		0,4359		0,5208

Tabulka 13: Závislost odpovědi na délce sakád (Výzkumná otázka I-III)

Respondent	Odpořď respondenta	Celková řělka sakád [px]	Odpořď respondenta	Celková řělka sakád [px]
	Výzkumná otázka IV		Výzkumná otázka V	
1.	1	253,26	1	247,12
2.	1	286,86	0	202,59
3.	1	374,85	1	220,56
4.	1	189,30	1	265,48
5.	1	293,67	1	201,90
6.	0	225,62	0	275,20
7.	1	221,00	0	284,53
8.	1	190,41	0	287,36
9.	1	145,00	1	292,17
10.	1	319,74	0	345,71
11.	0	269,65	1	206,98
12.	0	592,33	1	617,25
13.	1	232,23	0	204,77
14.	1	300,40	0	265,58
15.	1	268,84	0	274,62
16.	1	283,10	1	266,87
17.	1	195,57	0	329,47
18.	0	414,49	0	330,13
19.	1	245,63	1	221,46
20.	1	273,71	0	247,14
<i>p</i> – hladina významnosti		0,2114		0,2610

Tabulka 14: Závíslost odpovřďi na řělce sakád (Výzkumná otázka IV-V)

Výzkumná otázka	<i>p</i> – hladina významnosti
I	0,6167
II	0,4359
III	0,5208
IV	0,2114
V	0,2610

Tabulka 15: Hladina významnosti při určování závíslosti odpovřďi na řělce sakád

Dle statistické vyhodnocení je hodnota Wilcoxonova testu pro výzkumnou otázku I je $p = 0,6167$, pro otázku II $p = 0,4359$, pro otázku III $p = 0,5208$, pro otázku IV $p = 0,2114$ a pro otázku V $p = 0,2610$ (Tabulka 15). Ani v jednom případě se nejedná o hodnotu menší než 0,05, proto nelze zamítnout nulovou hypotézu. Odpovědi studentů a délky sakád jsou nezávislé.

3.9 Závislost odpovědi na čase stráveném na možnostech

Pomocí oblastí zájmu AOI jsme rozdělili otázky II-V na Zadání, Pole, Odpověď A a Odpověď B. Správné odpovědi jsme opět označili 1 a špatné odpovědi 0. Zajímalo nás, zda má vliv na správnost odpovědi čas strávený na možnostech odpovědi.

Ke zjištění této informace jsme využili model logistické regrese, který má výhodu v tom, že neklade žádné požadavky na rozdělení proměnných. Druhou výhodou je, že lze určit proměnné, které nemají významný vliv na předpoklad, a tak je nezařazovat do modelu. Tato metoda slouží k nalezení nezávisle proměnných, které ovlivňují závisle proměnnou. Ta může nabývat pouze dvou hodnot – 1 správná odpověď, 0 nesprávná odpověď. Následně určíme pomocí jednofaktorové analýzy, které parametry lze z modelu vyloučit. Jsou to ty, jejichž hodnota statistické významnosti přesáhne hladinu významnosti 0,05 (Dluhošová, 2016).

3.9.1 Výzkumná otázka II

Správná odpověď: B

H_{06} : Čas strávený na možnostech odpovědi nemá vliv na úspěšnost odpovědi na otázku II.

H_{A6} : Čas strávený na možnostech odpovědi má vliv na úspěšnost odpovědi na otázku II.

Respondent	x Čas strávený na odpovědi A [ms]	Model logistické regrese	Transformace na 0 a 1	Odhadovaná odpověď	Odpověď respondenta
1.	2534	-0,545	0,367	0	0
2.	939	1,554	0,826	1	1
3.	341	2,341	0,912	1	1
4.	2682	-0,740	0,323	0	1
5.	2161	-0,054	0,486	0	1
6.	495	2,139	0,895	1	1
7.	1072	1,379	0,799	1	1
8.	1550	0,750	0,679	1	0
9.	3302	-1,556	0,174	0	1
10.	3407	-1,694	0,155	0	0
11.	324	2,364	0,914	1	1
12.	4836	-3,575	0,027	0	0
13.	1883	0,312	0,577	1	0
14.	3251	-1,489	0,184	0	0
15.	22517	-26,847	0,000	0	0
16.	334	2,351	0,913	1	1
17.	5260	-4,133	0,016	0	0
18.	2963	-1,110	0,248	0	0
19.	546	2,072	0,888	1	1
20.	1761	0,472	0,616	1	0

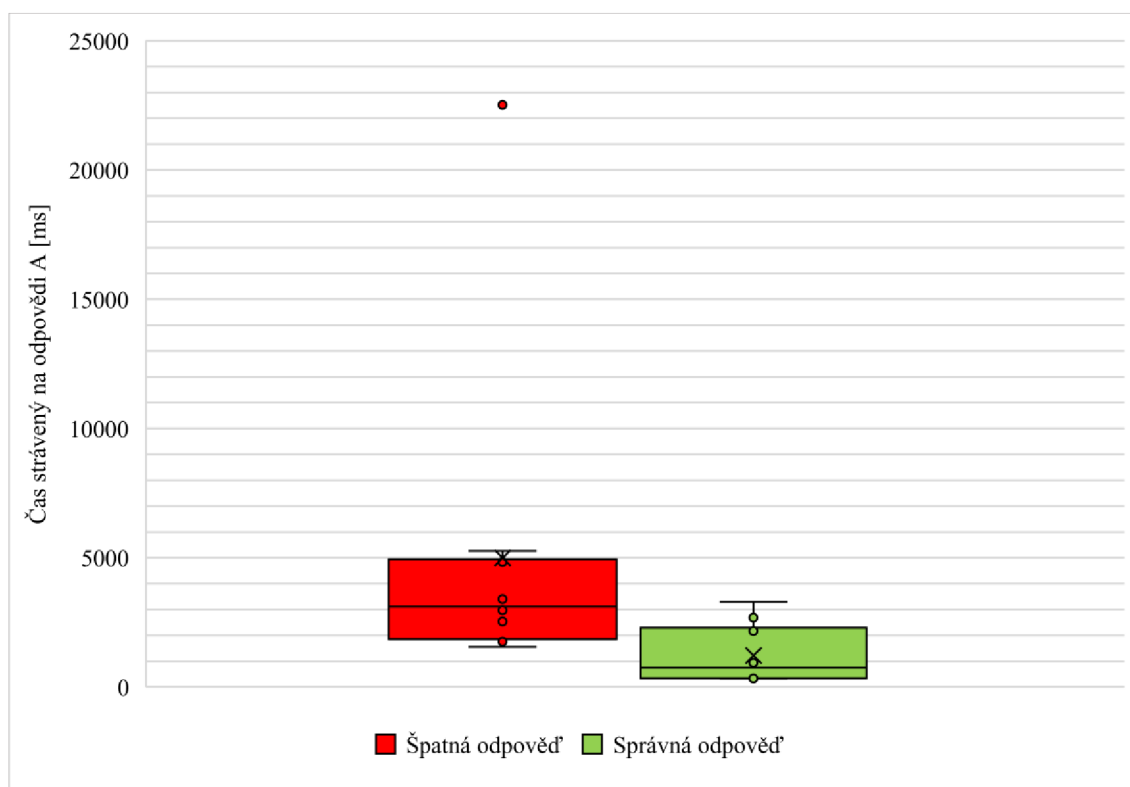
Tabulka 16: Logistická regrese pro otázku II

Hodnota statistické významnosti pro konstantní koeficient je $p = 0,0343$ a pro koeficient x je $p = 0,0247$, což je méně než hladina významnosti 0,05. Zamítáme tedy nulovou hypotézu ve prospěch alternujících.

Do sestavení logistické regresní funkce vstupuje společně s konstantou nezávisle proměnná x , která představuje čas strávený na odpovědi A. Po dosazení získáme následující rovnici: $g(\pi) = 2,7902612 - 0,0013162 \cdot x$.

Je-li koeficient kladný, znamená to, že daná proměnná zvyšuje šanci výskytu sledovaného jevu, tedy čím déle se respondent na danou možnost dívá, tím spíše odpoví správně. Avšak záporné hodnoty regresního koeficientu představují negativní závislost dané proměnné vůči závisle proměnné a šance na správnou odpověď se snižuje. Před proměnnou x je záporný koeficient, čím déle se respondent díval na možnost A, tím spíše zvolil možnost A, která byla nesprávná (Graf 5).

Na závěr uvádíme úspěšnost logistické regrese, která je v tomto případě 70,00 %.



Graf 5: Závislost času stráveného na odpovědi A a úspěšnosti při řešení otázky II

3.9.2 Výzkumná otázka III

Správná odpověď: A

H₀₇: Čas strávený na možnostech odpovědi nemá vliv na úspěšnost odpovědi na otázku III.

H_{A7}: Čas strávený na možnostech odpovědi má vliv na úspěšnost odpovědi na otázku III.

Respondent	x Čas strávený na odpovědi A [ms]	Model logistické regrese	Transformace na 0 a 1	Odhadovaná odpověď	Odpověď respondenta
1.	1127	1,092	0,749	1	1
2.	1343	2,016	0,883	1	1
3.	818	-0,231	0,443	0	1
4.	10	-3,689	0,024	0	0
5.	664	-0,890	0,291	0	0
6.	10	-3,689	0,024	0	0
7.	382	-2,097	0,109	0	0
8.	207	-2,846	0,055	0	0
9.	1820	4,058	0,983	1	1
10.	1237	1,563	0,827	1	0
11.	340	-2,276	0,093	0	0
12.	551	-1,373	0,202	0	0
13.	1505	2,710	0,938	1	1
14.	1605	3,138	0,958	1	1
15.	1882	4,323	0,987	1	1
16.	254	-2,644	0,066	0	0
17.	10	-3,689	0,024	0	0
18.	415	-1,955	0,124	0	0
19.	455	-1,784	0,144	0	1
20.	288	-2,499	0,076	0	0

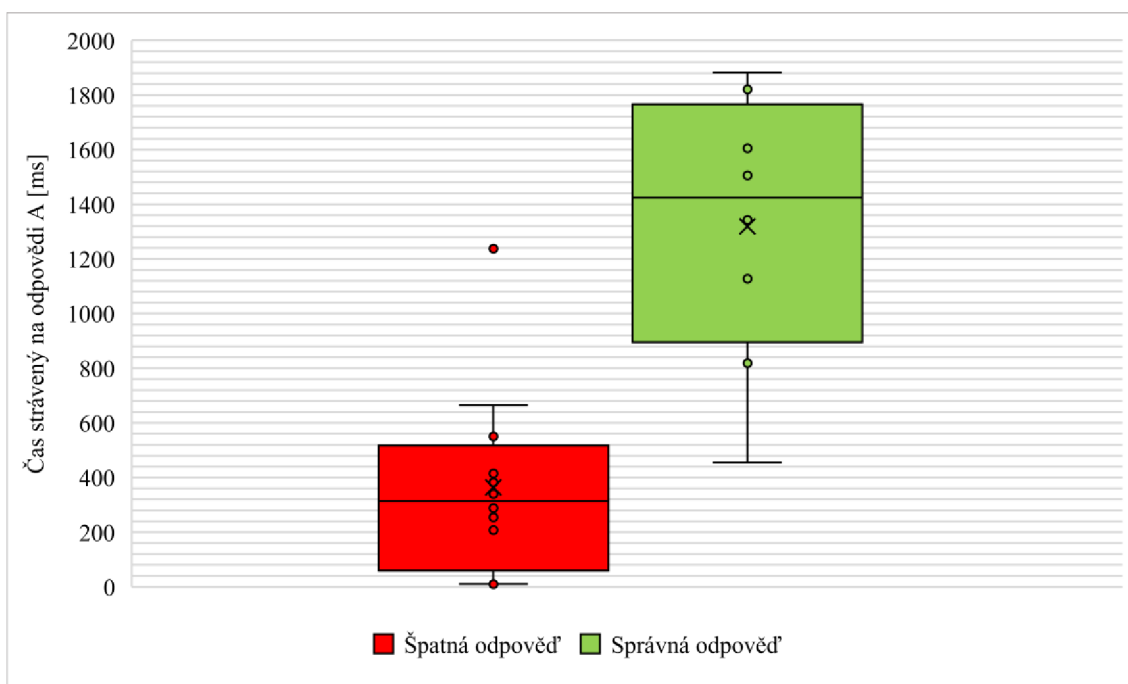
Tabulka 17: Logistická regrese pro otázku III

Pro konstantní koeficient je hladina významnosti $p = 0,0115$ a pro koeficient x je hladina významnosti $p = 0,0127$, což je méně než hladina významnosti 0,05. Zamítáme nulovou hypotézu. Čas strávený na správné odpovědi má vliv na úspěšnost odpovědi na otázku III.

Do sestavení logistické regresní funkce vstupuje konstantní koeficient a nezávisle proměnná x , která představuje čas strávený na odpovědi A. Po dosazení získáme rovnici: $g(\pi) = -3,731612 + 0,004280 \cdot x$.

Koeficient před proměnnou x je kladný, daná proměnná zvyšuje šanci výskytu sledovaného jevu, tedy čím déle se respondent na danou možnost dívá, tím spíše odpoví správně. Čím déle se respondent díval na možnost A, tím spíše ji zvolil za svou odpověď (Graf 6). Možnost A byla správná.

Na závěr uvádíme úspěšnost logistické regrese, která je v tomto případě 85,00 %.



Graf 6: Závislost času stráveného na odpovědi A a úspěšnosti při řešení otázky III

3.9.3 Výzkumná otázka IV

Správná odpověď: B

H_{08} : Čas strávený na možnostech odpovědi nemá vliv na úspěšnost odpovědi na otázku IV.

H_{A8} : Čas strávený na možnostech odpovědi má vliv na úspěšnost odpovědi na otázku IV.

Respondent	x Čas strávený na odpovědi A [ms]	Model logistické regrese	Transformace na 0 a 1	Odhadovaná odpověď	Odpověď respondenta
1.	0	3,948	0,981	1	1
2.	308	2,644	0,934	1	1
3.	471	1,954	0,876	1	1
4.	0	3,948	0,981	1	1
5.	362	2,416	0,918	1	1
6.	667	1,125	0,755	1	0
7.	268	2,814	0,943	1	1
8.	0	3,948	0,981	1	1
9.	0	3,948	0,981	1	1
10.	582	1,485	0,815	1	1
11.	631	1,277	0,782	1	0
12.	3777	-12,040	0,000	0	0
13.	154	3,296	0,964	1	1
14.	608	1,374	0,798	1	1
15.	0	3,948	0,981	1	1
16.	255	2,869	0,946	1	1
17.	0	3,948	0,981	1	1
18.	1562	-2,664	0,065	0	0
19.	1093	-0,679	0,337	0	1
20.	0	3,948	0,981	1	1

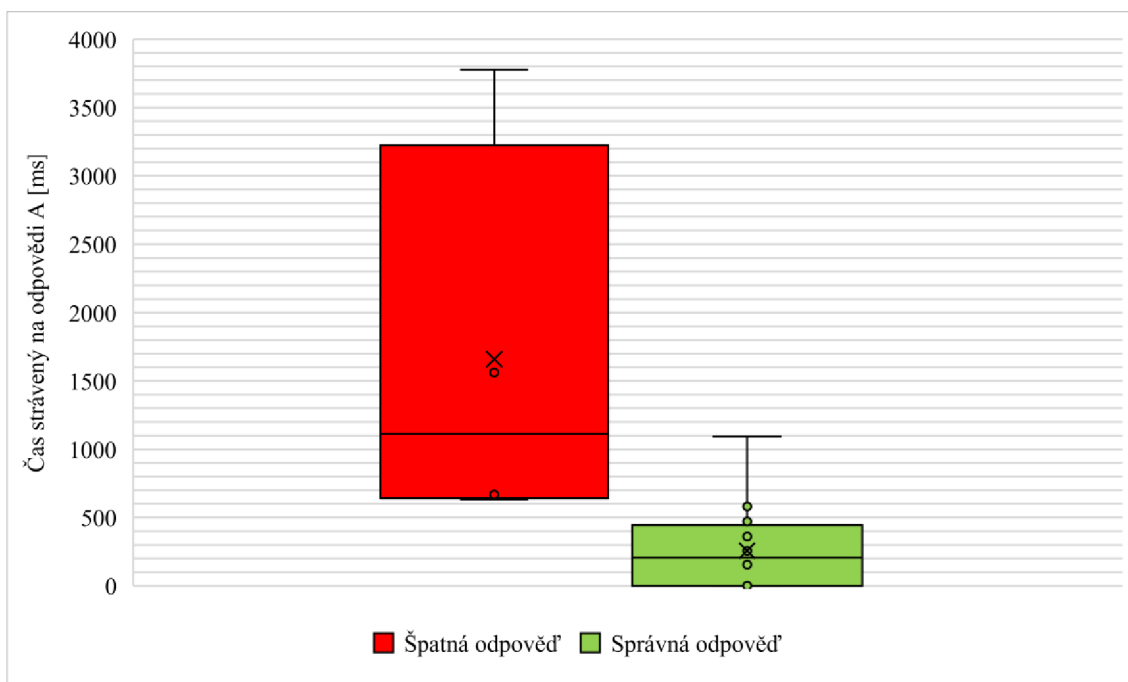
Tabulka 18: Logistická regrese pro otázku IV

Hodnota statistické významnosti pro konstantní koeficient $p = 0,0146$ a pro koeficient x $p = 0,0459$ je menší než hladina významnosti 0,05. Lze tedy zamítnout nulovou hypotézu. Čas strávený na možnostech odpovědi má vliv na úspěšnost odpovědi na otázku II.

Logistická regresní funkce má tvar: $g(\pi) = 3,948139 - 0,004233 \cdot x$, kde mimo konstanty vstupuje i proměnná x , která představuje čas strávený na možnosti A.

Je-li koeficient záporný, znamená to, že daná proměnná snižuje šanci výskytu sledovaného jevu, tedy čím déle se respondent na danou možnost dívá, tím spíše odpoví špatně. Záporný koeficient před proměnnou x říká, že čím déle se respondent díval na možnost A, tím spíše ji zvolil (Graf 7). Tato možnost byla nesprávná.

Na závěr uvádíme úspěšnost logistické regrese, která je v tomto případě 85,00 %.



Graf 7: Závislost času stráveného na odpovědi A a úspěšnosti při řešení otázky IV

3.9.4 Výzkumná otázka V

Správná odpověď: B

H_{09} : Čas strávený na možnostech odpovědi nemá vliv na úspěšnost odpovědi na otázku V.

H_{A9} : Čas strávený na možnostech odpovědi má vliv na úspěšnost odpovědi na otázku V.

Respondent	x_1 Čas strávený na odpovědi A [ms]	x_2 Čas strávený na odpovědi B [ms]	Model logistické regrese	Transformace na 0 a 1	Odhadovaná odpověď	Odpověď respondenta
1.	0	1157	2,266	0,906	1	1
2.	1654	0	-4,377	0,012	0	0
3.	402	463	-0,303	0,425	0	1
4.	2915	2791	-0,949	0,279	0	1
5.	314	1265	1,763	0,854	1	1
6.	678	141	-1,709	0,153	0	0
7.	696	1286	0,895	0,710	1	0
8.	388	194	-0,891	0,291	0	0
9.	2252	2751	0,549	0,634	1	1
10.	877	394	-1,602	0,168	0	0
11.	0	760	1,348	0,794	1	1
12.	1285	1501	-0,021	0,495	0	1
13.	869	0	-2,494	0,076	0	0
14.	1071	556	-1,693	0,155	0	0
15.	2162	3248	1,914	0,871	1	0
16.	0	1341	2,692	0,937	1	1
17.	1092	0	-3,028	0,046	0	0
18.	1767	1855	-0,359	0,411	0	0
19.	0	442	0,613	0,649	1	1
20.	604	0	-1,858	0,135	0	0

Tabulka 19: Logistická regrese pro otázku V

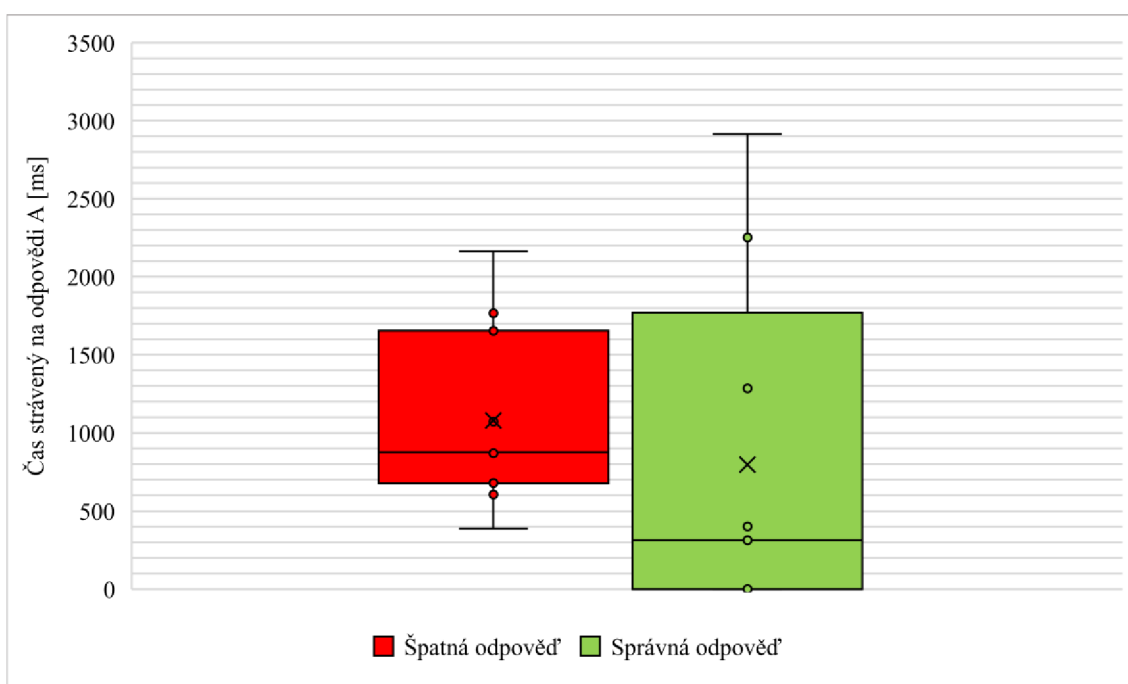
Hodnota statistické významnosti pro konstantní koeficient je $p = 0,6581$ a pro koeficient x_1 je $p = 0,0374$ a pro koeficient x_2 je $p = 0,0246$, což je méně než hladina

významnosti 0,05. Zamítáme tedy nulovou hypotézu. Čas strávený na možnostech odpovědi má vliv na úspěšnost odpovědi na otázku V.

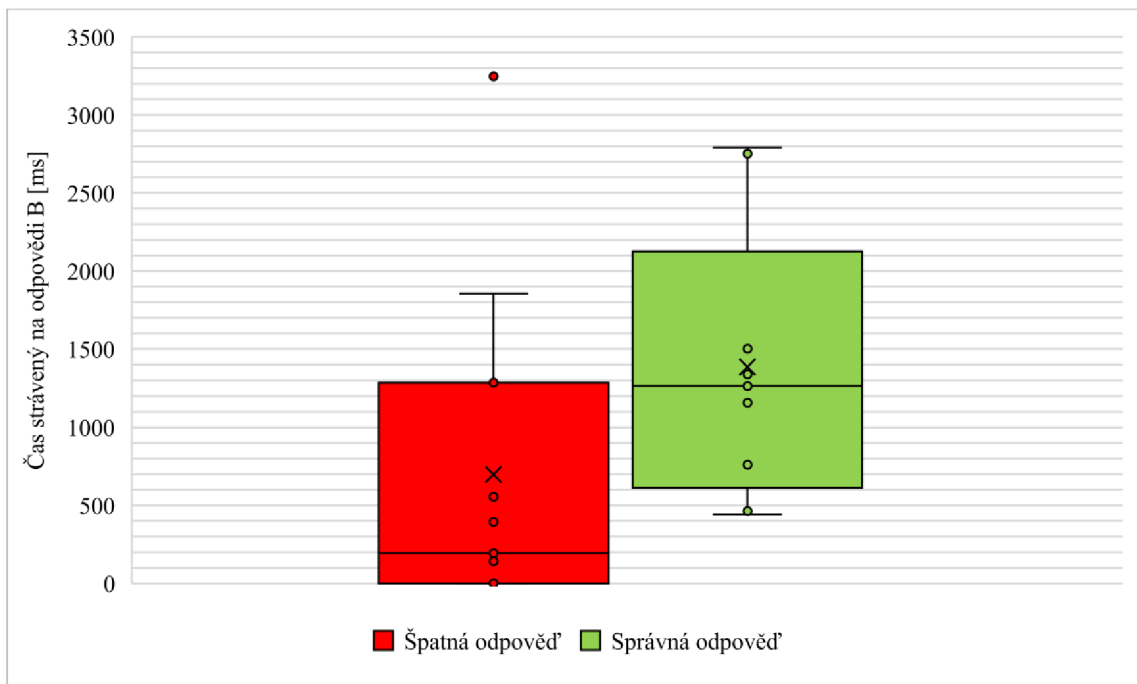
Do sestavení logistické regresní funkce vstupuje mimo konstantu také nezávisle proměnná x_1 , která představuje čas strávený na možnosti A a proměnná x_2 , která představuje čas strávený na možnosti B. Po dosazení získáme následující rovnici logistické regrese: $g(\pi) = -0,408778 - 0,002399 \cdot x_1 + 0,002312 \cdot x_2$.

Je-li koeficient kladný, znamená to, že daná proměnná zvyšuje šanci výskytu sledovaného jevu, tedy čím déle se respondent dívá na možnost B, tím spíše odpoví správně (Graf 9). Správná odpověď je B. Avšak záporné hodnoty regresního koeficientu představují, že šance na správnou odpověď se snižuje. Tedy čím delší dobu se respondent dívá na možnost A, tím spíše odpoví špatně (Graf 8).

Úspěšnost této logistické regrese je 75,00 %.



Graf 8: Závislost času stráveného na odpovědi A a úspěšnosti při řešení otázky V



Graf 9: Závislost času stráveného na odpovědi B a úspěšnosti při řešení otázky V

Závěr

Cílem diplomové práce bylo zmapovat pomocí metody eye-tracking, zda a jak studenti fyzikálních oborů umí pracovat s grafy vektorového pole. Našeho výzkumu se zúčastnilo 30 studentů Katedry experimentální fyziky Univerzity Palackého v Olomouci. Na základě velkého množství tzv. ztracených dat byla vyřazena ze statického zpracování data 10 respondentů. Rozsah statistického souboru je 20 studentů – 10 studentů bakalářských studijních programů a 10 studentů navazujících magisterských programů. Studie obsahovala pět otázek, přičemž první otázku jsme označili za úvodní. Předpokládali jsme, že odpoví-li respondent špatně na tuto otázku, odpoví pravděpodobně špatně i na ostatní otázky výzkumu, které se zabývaly divergencí vektorového pole. Dle statistického zpracování (Vliv odpovědi na první otázku na úspěšnost při řešení dalších otázek 3.6) nemá správnost odpovědi na první otázku vliv na úspěšnost při řešení dalších otázek.

Otázkou s nejmenší úspěšností, konkrétně 40,00 %, je otázka III, odpovědělo na ni správně pouze 8 respondentů. Z toho usuzujeme, že otázka III obsahovala vektorové pole, u kterého bylo nejobtížnější určit, zda je jeho divergence nulová či nikoliv. Naopak na otázky I a IV odpovědělo správně nejvíce respondentů, úspěšnost u těchto otázek je 80,00 %.

Dle Klein a kol. (2018) respondenti v případě, že správně posoudí divergence mají tendenci trávit méně času prohlížením grafů vektorových polí. Při vyhodnocování našeho výzkumu se však tato skutečnost nepotvrdila (Tabulka 4). Naopak otázky, u kterých respondenti strávili více času na grafu vektorového pole, mají vyšší procento úspěšnosti.

Výzkumu se zúčastnily dvě skupiny studentů – studenti bakalářského a navazujícího magisterského programu. Statistické vyhodnocení (Kapitola 3.4) ukázalo, že mezi odpověďmi Bc. studentů a Mgr. studentů není statisticky významný rozdíl. Přesto jsme si všimli, že studenti navazujících magisterských programů chybovali častěji. Tato skutečnost nás překvapila, neboť tito studenti by měli mít za sebou více předmětů, ve kterých se grafické znázornění vektorových polí a konkrétně divergence probírá. Tato neznalost mohla vzniknout v době, kdy tyto předměty byly vyučovány online z důvodu mimořádných opatření daných pandemií Covid-19.

Dále jsme zjišťovali, zda odpovědi studentů souvisí s celkovým počtem fixací, které během dané otázky provedou. Statistické vyhodnocení ukázalo, že odpovědi studentů a počty fixací jsou zcela nezávislé. Počet fixací, které respondenti udělají během jedné

otázky nemá vliv na úspěšnost při řešení (Kapitola 3.7). Prověřili jsme i případnou závislost mezi odpověďmi studentů a celkovou délkou sakád. Dle statistického vyhodnocení odpovědi studentů a délky sakád nejsou závislé. Délka sakád tedy nemá vliv na úspěšnost při řešení jednotlivých otázek (Kapitola 3.8).

Dalším zajímavým výsledkem je otázka, zda má čas strávený na možnostech odpovědi vliv na úspěšnost. Tuto hypotézu jsme ověřovali pro čtyři otázky výzkumu (II-V). Pro statistické vyhodnocení jsme využili model logistické regrese. Úspěšnost těchto modelů se pohybovala v rozmezí od 70,00 % do 85,00 %. U všech otázek byla nalezena určitá souvislost mezi časem stráveným na některé z možností a správnou odpovědí (Kapitola 3.9). Záporné hodnoty regresního koeficientu pro čas strávený na možnosti odpovědi A u otázky II vyjadřují negativní závislost. Znamená to, že čím déle se respondent zaměřuje na tuto možnost, tím spíše zvolí právě tuto možnost, která je nesprávná (Graf 5). Koeficient pro čas strávený na možnosti A je kladný pro otázku III, daná proměnná zvyšuje šanci na označení správné odpovědi. Čím déle se respondent na danou možnost dívá, tím spíš ji zvolí a odpoví tak správně, protože možnost A byla správná (Graf 6). Záporný koeficient pro čas strávený na možnosti odpovědi A u otázky IV vyjadřuje, že čím déle se student na tuto oblast dívá, tím spíše odpoví špatně, tedy zvolí tuto možnost A. Správnou odpovědí je v tomto případě B (Graf 7). V případě otázky V kladný koeficient pro čas strávený na možnosti B určuje, že dívá-li se respondent delší dobu na tuto možnost odpovědi, tím spíš odpoví správně, přičemž možnost B je správná (Graf 9). Naopak dívá-li se delší dobu na možnost A, tím spíše odpoví špatně, tedy možnost A (Graf 8).

Souhrnně respondent volí tu možnost odpovědi, na které stráví nejdelší dobu. Ať už je správná či nikoliv, což potvrzuje Hahn a Klein (2022), kde uvádí, že studenti, kteří odpověděli správně, strávili více času nad správnou možností odpovědi a naopak studenti, kteří odpověděli nesprávně, strávili více času nad odpověďmi nesprávnými.

Výsledky získané v této práci mohou být použity k diskusím o dalším rozvoji eye-trackingu nejen při vizualizaci vektorových polí, ale také v jiných oblastech fyziky.

Seznam použité literatury

AMERI, Shideh Kabir, Myungsoo KIM, Irene Agnes KUANG, a kol. Imperceptible electrooculography graphene sensor system for human–robot interface. *Npj 2D Materials and Applications* [online]. 2018, **2**(19) [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1038/s41699-018-0064-4>

BERGSTROM, Jennifer Romano a Andrew Jonathan SCHALL. *Eye tracking in user experience design*. Boston: Elsevier, [2014]. ISBN 978-0-12-408138-3.

BOLLEN, Laurens, Paul VAN KAMPEN, Charles BAILY a Mieke DE COCK. Qualitative investigation into students' use of divergence and curl in electromagnetism. *Physical Review Physics Education Research* [online]. 2016, **12**(2) [cit. 2022-07-20]. ISSN 2469-9896. Dostupné z: doi:10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.020134

DLUHOŠOVÁ, Markéta. *Stanovení pravděpodobnosti defaultu klientů pomocí scóringového modelu* [online]. Ostrava, 2016 [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/4qaffz/>. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Ekonomická fakulta. Vedoucí práce Josef Novotný.

DUCHOWSKI, Andrew T. *Eye Tracking Methodology* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2017 [cit. 2022-07-08]. ISBN 978-3-319-57881-1. Dostupné z: doi: 10.1007/978-3-319-57883-5

FARNSWORTH, Bryn. What is Eye Tracking and How Does it Work?. *Imotions* [online]. 2019 [cit. 2022-07-10]. Dostupné z: <https://imotions.com/blog/eye-tracking-work/>

HAHN, Larissa a Pascal KLEIN. Eye tracking in physics education research: A systematic literature review. *Physical Review Physics Education Research* [online]. 2022, **18**(1) [cit. 2022-07-20]. ISSN 2469-9896. Dostupné z: doi: 10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.013102

HOLMQVIST, Kenneth, Marcus NYSTRÖM, Richard ANDERSSON, Richard DEWHURST, Halszka JARODZKA a Joost van de WEIJER. *Eye tracking: a comprehensive guide to methods and measures*. New York: Oxford University Press, 2011. ISBN 978-019-969-708-3.

CHEN, Sheng-Chang, Hsiao-Ching SHE, Ming-Hua CHUANG, Jiun-Yu WU, Jie-Li TSAI a Tzyy-Ping JUNG. Eye movements predict students' computer-based assessment performance of physics concepts in different presentation modalities. *Computers & Education* [online]. 2014 [cit. 2022-08-03]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.12.012>

JARODZKA, Halszka, Kenneth HOLMQVIST a Hans GRUBER. Eye tracking in Educational Science: Theoretical frameworks and research agendas. *Journal of Eye Movement Research* [online]. 2017, **10**(1) [cit. 2022-08-02]. ISSN 1995-8692. Dostupné z: doi: 10.16910/jemr.10.1.3

JEDLIČKA, Libor. Základní úvod do Eye Trackingu. *VLET.osu.cz* [online]. Ostrava, 2014 [cit. 2022-07-25]. Dostupné z: <http://vlet.osu.cz/e-tracking.htm>

KEKULE, Martina. Výzkum pomocí oční kamery ve fyzikálním vzdělávání. *Scientia in educatione* [online]. 2014, **5**(2) [cit. 2022-08-03]. ISSN 1804-7106. Dostupné z: <http://www.scied.cz/index.php/scied/article/view/107/100/>

KLEIN, Pascal, Jouni VIIRI, Saleh MOZAFFARI, Andreas DENGEL a Jochen KUHN. Instruction-based clinical eye-tracking study on the visual interpretation of divergence: How do students look at vector field plots?. *Physical Review Physics Education Research* [online]. 2018, **14**(1) [cit. 2022-07-20]. ISSN 2469-9896. Dostupné z: doi:10.1103/PhysRevPhysEducRes.14.010116

LUPU, Robert Gabriel. a Florina UNGUREANU. *A Survey of Eye Tracking Methods and Applications*. “Gheorghe Asachi” Technical University of Iași, Faculty of Automatic Control and Computer Engineering, 2013. Bul. Inst. Polit. Iași, t. LIX (LXIII), f. 3.

MOZAFFARI, Saleh, Mohammad AL-NASER, Pascal KLEIN, Stefan KÜCHEMANN, Jochen KUHN, Thomas WIDMANN a Andreas DENGEL. Classification of Visual Strategies in Physics Vector Field Problem-solving. In: *Proceedings of the 12th International Conference on Agents and Artificial Intelligence* [online]. SCITEPRESS – Science and Technology Publications, 2020, s. 257-267 [cit. 2022-07-20]. ISBN 978-989-758-395-7. Dostupné z: doi:10.5220/0009173902570267

POPELKA, Stanislav. *Eye-tracking (nejen) v kognitivní kartografii* [online]. Křížkovského 8, 771 47 Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2018 [cit. 2022-08-01]. ISBN 978-80-244-5313-2. Dostupné z: doi:10.5507/prf.18.24453132

SHAYAN, Shakila, Dor ABRAHAMSON, Arthur BAKKER, Carolien A. C. G. DUIJZER a Marieke VAN DER SCHAAF. Eye-Tracking the Emergence of Attentional Anchors in a Mathematics Learning Tablet Activity. In: WAS, Christopher, Frank SANSOSTI a Bradley MORRIS, ed. *Eye-Tracking Technology Applications in Educational Research* [online]. IGI Global, 2017, s. 166-194 [cit. 2022-08-02]. Advances in Educational Technologies and Instructional Design. ISBN 9781522510055. Dostupné z: doi:10.4018/978-1-5225-1005-5.ch009

SUSAC, Ana, Andreja BUBIC, Maja PLANINIC, Marko MOVRE a Marijan PALMOVIC. Role of diagrams in problem solving: An evaluation of eye-tracking parameters as a measure of visual attention. *Physical Review Physics Education Research* [online]. 2019, **15**(1) [cit. 2022-08-02]. ISSN 2469-9896. Dostupné z: doi:10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.013101

WADE, Nicholas J. Pioneers of eye movement research. *i-Perception* [online]. 2010, **1**(2), s. 33-68 [cit. 2022-08-02]. ISSN 2041-6695. Dostupné z: doi: https://doi.org/10.1068/i0389

Seznam tabulek

Tabulka 1: <i>Správné odpovědi na výzkumné otázky</i>	18
Tabulka 2: <i>Charakteristika zkoumaného souboru – pohlaví respondentů</i>	19
Tabulka 3: <i>Souhrn odpovědí pro jednotlivé otázky</i>	22
Tabulka 4: <i>Závislost správné odpovědi na čase stráveném na grafu vektorového pole</i>	23
Tabulka 5: <i>Nejkratší a nejdelší čas strávený na jednotlivých otázkách</i>	24
Tabulka 6: <i>Rozdíl mezi odpověďmi Bc. a nMgr. studentů</i>	31
Tabulka 7: <i>Rozdíl mezi odpověďmi žen a mužů</i>	32
Tabulka 8: <i>Počet správných odpovědí na otázky II-V u Bc. studentů</i>	33
Tabulka 9: <i>Počet správných odpovědí na otázky II-V u nMgr. studentů</i>	34
Tabulka 10: <i>Závislost odpovědi na počtu fixací (Výzkumná otázka I-III)</i>	35
Tabulka 11: <i>Závislost odpovědi na počtu fixací (Výzkumná otázka IV-V)</i>	36
Tabulka 12: <i>Hladina významnosti při určování závislosti odpovědi na počtu fixací</i>	36
Tabulka 13: <i>Závislost odpovědi na délce sakád (Výzkumná otázka I-III)</i>	37
Tabulka 14: <i>Závislost odpovědi na délce sakád (Výzkumná otázka IV-V)</i>	38
Tabulka 15: <i>Hladina významnosti při určování závislosti odpovědi na délce sakád</i>	38
Tabulka 16: <i>Logistická regrese pro otázku II</i>	40
Tabulka 17: <i>Logistická regrese pro otázku III</i>	42
Tabulka 18: <i>Logistická regrese pro otázku IV</i>	44
Tabulka 19: <i>Logistická regrese pro otázku V</i>	46

Seznam obrázků

Obrázek 1: <i>Gaze plot (Respondent 14.)</i>	12
Obrázek 2: <i>Attention map (Respondent 14.)</i>	12
Obrázek 3: <i>Oblasti zájmu (AOI)</i>	13
Obrázek 4: <i>Výzkumná otázka I</i>	17
Obrázek 5: <i>Výzkumná otázka II</i>	17
Obrázek 6: <i>Výzkumná otázka III</i>	17
Obrázek 7: <i>Výzkumná otázka IV</i>	18
Obrázek 8: <i>Výzkumná otázka V</i>	18
Obrázek 9: <i>Attention map pro otázku I</i>	26
Obrázek 10: <i>Attention map pro otázku II</i>	26
Obrázek 11: <i>Attention map pro otázku III</i>	26
Obrázek 12: <i>Attention map pro otázku IV</i>	27
Obrázek 13: <i>Attention map pro otázku V</i>	27
Obrázek 14: <i>Celkový počet fixací AOI, výzkumná otázka II</i>	28
Obrázek 15: <i>Celkový počet fixací AOI, výzkumná otázka III</i>	28
Obrázek 16: <i>Celkový počet fixací AOI, výzkumná otázka IV</i>	28
Obrázek 17: <i>Celkový počet fixací AOI, výzkumná otázka V</i>	28
Obrázek 18: <i>Vizualizace přesunů pohledu mezi AOI, výzkumná otázka II</i>	29
Obrázek 19: <i>Vizualizace přesunů pohledu mezi AOI, výzkumná otázka III</i>	29
Obrázek 20: <i>Vizualizace přesunů pohledu mezi AOI, výzkumná otázka IV</i>	30
Obrázek 21: <i>Vizualizace přesunů pohledu mezi AOI, výzkumná otázka V</i>	30

Seznam grafů

Graf 1: <i>Charakteristika zkoumaného souboru – pohlaví respondentů</i>	19
Graf 2: <i>Relativní četnost odpovědí na jednotlivé otázky</i>	23
Graf 3: <i>Doba řešení jednotlivých úloh</i>	25
Graf 4: <i>Úspěšnost při řešení první otázky</i>	32
Graf 5: <i>Závislost času stráveného na odpovědi A a úspěšnosti při řešení otázky II</i>	41
Graf 6: <i>Závislost času stráveného na odpovědi A a úspěšnosti při řešení otázky III</i>	43
Graf 7: <i>Závislost času stráveného na odpovědi A a úspěšnosti při řešení otázky IV</i>	45
Graf 8: <i>Závislost času stráveného na odpovědi A a úspěšnosti při řešení otázky V</i>	47
Graf 9: <i>Závislost času stráveného na odpovědi B a úspěšnosti při řešení otázky V</i>	48